

**EVALUACIÓN DE LA ADECUACIÓN HIDRÁULICA DEL RÍO BOGOTÁ SOBRE LA
CALIDAD DEL AGUA TOMANDO COMO BASE DATOS HISTÓRICOS**

WILMAR TORRES TORRES

HERNAN CAMILO MORENO CHAPARRO

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS

BOGOTÁ D.C – 2019

**EVALUACIÓN DE LA ADECUACIÓN HIDRÁULICA DEL RIO BOGOTÁ SOBRE LA
CALIDAD DEL AGUA TOMANDO COMO BASE DATOS HISTÓRICOS**

WILMAR TORRES TORRES

HERNAN CAMILO MORENO CHAPARRO

Trabajo de grado para obtener el título de especialista en Recursos Hídricos.

ASESOR: LAURA PULGARÍN

INGENIERA AMBIENTAL, MSC.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS

BOGOTÁ D.C – 2019

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Gonzalo Cifuentes

Jurado

Andrés Palacios

Jurado

Bogotá D.C., Noviembre de 2019.



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)
Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/co/>

Usted es libre de:



Copiar, copiar, redistribuir, vender y consumir públicamente la obra.

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciador (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyará la obra que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



Sin Obras Derivadas — No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

Dedicatoria

Dedicamos este trabajo en primer lugar a Dios, por guiarnos en nuestra formación profesional, a nuestras familias, por su apoyo incondicional durante el desarrollo de la Especialización de Recursos Hídricos, y a nuestros compañeros de curso por su compañerismo y respeto.

Agradecimientos

Queremos agradecer a la Ingeniera Laura Pulgarin Morales por brindarnos su apoyo, conocimiento, experiencia y paciencia en el desarrollo de esta investigación.

También agradecer al Ingeniero Edwin Masmela y al Ingeniero Javier Salas de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca por su orientación en el acceso a la información de la que se utilizaron en el desarrollo de este trabajo de grado, y poder llegar a la consecución de este documento.

Finalmente, queremos agradecer a los docentes de la Especialización en Recursos Hídricos de la Universidad Católica de Colombia por su labor docente y por brindarnos su conocimiento y experiencia durante el transcurso del año.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	3
1 GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO	4
1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.....	4
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.2.1 Antecedentes del problema.....	6
1.2.2 Pregunta de investigación	9
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	9
1.4 OBJETIVOS	10
1.4.1 Objetivo general.....	10
1.4.2 Objetivos específicos	10
2 MARCOS DE REFERENCIA	11
2.1 MARCO CONCEPTUAL	11
2.1.1 Calidad del agua	11
2.1.2 Carga contaminante diaria.....	11
2.1.3 Contaminación del agua.....	11
2.1.4 Cuenca hidrográfica.....	11
2.1.5 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....	12
2.1.6 Demanda química de oxígeno (DQO)	12
2.1.7 Oxígeno disuelto.....	12
2.1.8 pH.....	12
2.1.9 POMCA - Plan de Ordenamiento y Manejo de Cuencas.....	12
2.1.10 Vertimiento	13
2.2 MARCO TEÓRICO	13
2.3 MARCO JURÍDICO.....	15
2.4 MARCO GEOGRÁFICO.....	17
2.5 ESTADO DEL ARTE	20
3 METODOLOGÍA.....	23
3.1 FASES DEL TRABAJO DE GRADO	23
3.1.1 Fase I. Identificación de los puntos de monitoreo y parámetros de calidad del agua	23

3.1.2	<i>Fase II. Análisis de los datos</i>	24
3.1.3	<i>Fase III. Análisis de resultados</i>	24
3.2	INSTRUMENTOS O HERRAMIENTAS UTILIZADAS	25
3.3	ALCANCES Y LIMITACIONES.....	25
3.3.1	<i>Alcances</i>	25
3.3.2	<i>Limitaciones</i>	26
4	RESULTADOS	27
4.1	FASE I.....	27
4.1.1	<i>Características de la zona de influencia del proyecto</i>	27
4.1.2	<i>Identificación de las estaciones de monitoreo de calidad hídrica</i>	29
4.2	FASE 2	32
4.2.1	<i>Comportamiento del caudal en la cuenca media río Bogotá</i>	32
4.2.2	<i>Conductividad</i>	33
4.2.3	<i>Temperatura</i>	35
4.2.4	<i>Demanda química de oxígeno (DQO)</i>	36
4.2.5	<i>Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)</i>	37
4.2.6	<i>Potencial de Hidrogeno (pH)</i>	38
4.2.7	<i>Oxígeno disuelto (OD)</i>	39
4.2.8	<i>Coliformes totales</i>	40
4.2.9	<i>Nitritos</i>	41
4.2.10	<i>Solidos suspendidos totales</i>	43
4.2.11	<i>Aluminio</i>	43
4.2.12	<i>Boro</i>	45
4.2.13	<i>Hierro</i>	46
4.2.14	<i>Manganeso</i>	47
4.3	FASE 3.....	48
4.3.1	<i>Resultados estadísticos</i>	48
5	ANÁLISIS DE RESULTADOS	52
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	55
7	BIBLIOGRAFÍA	58

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2-1. CUENCA RÍO BOGOTÁ.....	17
FIGURA 2-2. CUENCA MEDIA RÍO BOGOTÁ	18
FIGURA 2-3. ÁREAS CON PRIORIDAD AMBIENTAL EN EL PROYECTO	19
FIGURA 4-1. GEORREFERENCIACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO.....	30
FIGURA 4-2. CLASES Y USOS EN LA CUENCA DEL RÍO BOGOTÁ.....	30

LISTA DE TABLAS

TABLA 2-1. MARCO JURÍDICO	15
TABLA 4-1. IDENTIFICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE CALIDAD HÍDRICA EN LA CUENCA MEDIA DEL RIO BOGOTÁ.	29
TABLA 4-2. PARÁMETROS A EVALUAR DE ACUERDO A LAS CLASES IV Y V.	31
TABLA 4-3. MEDIA ESTADÍSTICA DE LOS PARÁMETROS.....	48
TABLA 4-4. DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LOS PARÁMETROS.....	49

LISTA DE GRÁFICAS

GRÁFICA 4-1. COMPORTAMIENTO DEL CAUDAL.	32
GRÁFICA 4-2. COMPORTAMIENTO DE LA CONDUCTIVIDAD.	33
GRÁFICA 4-3. COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA.	35
GRÁFICA 4-4. COMPORTAMIENTO DEL DQO.	36
GRÁFICA 4-5. COMPORTAMIENTO DEL DBO5.	37
GRÁFICA 4-6. COMPORTAMIENTO DEL PH.	38
GRÁFICA 4-7. COMPORTAMIENTO DEL OXÍGENO DISUELTO.	39
GRÁFICA 4-8. COMPORTAMIENTO DE COLIFORMES TOTALES.	40
GRÁFICA 4-9. COMPORTAMIENTO DE NITRITOS.	41
GRÁFICA 4-10. COMPORTAMIENTO DE SST.	43
GRÁFICA 4-11. COMPORTAMIENTO DE ALUMINIO.	44
GRÁFICA 4-12. COMPORTAMIENTO DEL BORO.	45
GRÁFICA 4-13. COMPORTAMIENTO DEL HIERRO.	46
GRÁFICA 4-14. COMPORTAMIENTO DEL MANGANESO.	47

RESUMEN

La presente investigación se realizó con el fin de evaluar el impacto de la adecuación hidráulica realizada a la cuenca media del río Bogotá desde el año 2013 al 2016, en términos de calidad de agua, teniendo como base datos históricos de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). Para el desarrollo de la investigación se obtuvieron datos de los parámetros fisicoquímicos que se vieron afectados de manera positiva o negativamente después de la adecuación hidráulica. Los datos se obtuvieron desde las compuertas de Alicachín en el municipio de Soacha hasta la estación de Puente la Virgen en el municipio de Cota con un total de 68 km de adecuación. El trabajo se divide en 3 fases, la primera fase consistió en evaluar los parámetros de calidad antes de la adecuación hidráulica, para la segunda fase se evaluaron los parámetros después de la adecuación hidráulica, finalmente en la tercera fase se compararon los datos antes y después de la adecuación para poder evaluar si el impacto de la adecuación fue positivo en cuanto a la calidad del agua de la cuenca media del río Bogotá.

Palabras clave: Adecuación hidráulica, calidad del agua, cuenca, impacto, río Bogotá.

ABSTRACT

The present investigation was carried out with the purpose of evaluating the impact of the hydraulic adaptation made to the middle basin of the Bogotá River from 2013 to 2016, in terms of water quality, based on historical data from the Autonomous Regional Corporation of Cundinamarca (CAR). For the development of the research, data were obtained of the physicochemical parameters that were affected positively and negatively after the hydraulic adequacy. The data were obtained from the Alicachín gates in the municipality of Soacha to Puente la Virgen station in the municipality of Cota with a total of 68km of adequacy. The work is divided into 3 phases, the first phase consisted of evaluating the quality parameters before the hydraulic adjustment, for the second phase the parameters were evaluated after the hydraulic adequacy, finally in the third phase the data before and after were compared of the adequacy to be able to evaluate if the impact of the adaptation was positive in terms of the water quality of the middle basin of the Bogotá river.

Keywords: Hydraulic adaptation, water quality, basin, impact, Bogotá river.

INTRODUCCIÓN

La topografía plana de la Sabana de Bogotá, las bajas pendientes presentadas por el río Bogotá, por sus afluentes de la margen derecha y por los recorridos finales de la margen izquierda, han provocado que en las épocas de lluvias intensas se presenten emergencias en la Sabana por la ocurrencia de inundaciones de considerable magnitud e interferencia de los drenajes, que son la causa de graves perjuicios para la comunidad, la agricultura, las comunicaciones y para el desarrollo de las zonas urbanas.

Actualmente, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), ha presentado y adelantado el proyecto denominado “Adecuación hidráulica y recuperación ambiental del Río Bogotá”. Cuyo objetivo es transformar el río Bogotá, mediante la mejora de la calidad del agua, la reducción de los riesgos por inundación y la generación y recuperación de áreas multifuncionales a lo largo del río, recuperando este recurso hídrico como un activo para la región y para la ciudad de Bogotá.

De esta manera la investigación se enfocó en la evaluación del impacto generado por la adecuación hidráulica de la cuenca media del río Bogotá evaluando los parámetros fisicoquímicos que se vieron afectados de manera positiva o negativamente, parámetros como DBO, DQO, sólidos suspendidos, PH, entre otros.

Para el desarrollo de la investigación se solicitaron datos de la calidad físico-química de la cuenca del río Bogotá a la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), estos datos se ubican antes de la adecuación hidráulica es decir anterior al año 2013 y posterior a la adecuación hidráulica, con estos datos se realiza una comparación de los parámetros para medir el impacto de las obras que comprenden el proyecto.

1 GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO

1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo con el contexto en que se desarrolla este trabajo de grado, se clasifica dentro de la línea de investigación manejo y planificación del recurso hídrico.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El desconocimiento de las dinámicas y del comportamiento del recurso hídrico en la cuenca media del río Bogotá ha generado durante décadas problemáticas considerables que afectan a nivel socioeconómico la población de la zona urbana de Bogotá y la sabana de Bogotá, desde otro punto de vista esta problemática también ha generado cambios repentinos en el proceder natural del ecosistema.

Históricamente las poblaciones humanas se han asentado en zonas que ofrecen grandes servicios ecosistémicos (Etter et al., 2000), en este caso la cuenca del río Bogotá es una de las más afectadas por fenómenos derivados de la presión antrópica y la expansión urbana gracias a su potencial hídrico. La oferta y la demanda del recurso hídrico y la calidad actual del agua son consecuencia de los vertimientos de aguas residuales domésticas, industriales y la consecuencia de conexiones herradas del sistema sanitario pluvial no planificado para una ciudad en constante crecimiento.

El río Bogotá nace a los 3300 msnm en el municipio de Villapinzón y desemboca a los 380 msnm en el río Magdalena en el municipio de Girardot. En su recorrido de 336 Km, el río Bogotá recibe las aguas de los ríos Sisga, Neusa, Tibitoc, Tejar, Negro, Teusacá, Frío, Chicú, Salitre, Fucha, Tunjuelo, Siecha, Balsillas, (que a su vez recoge las aguas de los ríos Subachoque y Bojacá), Calandaima y Apulo (CAR, 2007). En el Acuerdo CAR 43 de 2006,

se establece que la cuenca se divide en tres sectores con el objetivo de definir escalas y delimitar la cuenca.

- 1) Cuenca Alta: Entre el municipio de Villapinzón y la estación hidrometeorológica Puente La Virgen.
- 2) Cuenca Media: Entre la estación hidrometeorológica Puente La Virgen y las compuertas Alicachín, en inmediaciones del embalse del Muña (A su vez se divide en cuenca media occidental y oriental, en la cual se localiza el Distrito Capital.
- 3) Cuenca Baja: entre El Embalse del Muña y la desembocadura del río Bogotá en el río Magdalena.

En la actualidad se observa que la cuenca media es una de las más afectadas por descargas de vertimientos industriales, por la carga contaminante de aguas residuales municipal de los efluentes de las PTAR existentes (Zipaquirá, Cajicá y chía), pero sin embargo la causa principal es el deterioro en la calidad de agua en este tramo de la cuenca debido a que está dada de acuerdo a los vertimientos del área urbana de Bogotá, los cuales son transportados y descargados a través de los ríos urbanos y canales de aguas de escorrentía. La carga contaminante está constituida por las aguas servidas de una población de siete millones de habitantes, las conexiones erradas, los vertimientos industriales, los aportes de sólidos originados de los procesos erosivos de los cerros orientales y de malas prácticas de disposición de residuos sólidos en canales y sumideros.

Los estados de degradación causados por intervención antropogénica hacen necesario explorar alternativas como la adecuación hidráulica que contribuyen a mitigar los impactos negativos de estas perturbaciones en el recurso hídrico en los tramos de la cuenca media del río Bogotá, para lo cual es necesario tener información sobre la capacidad y

efectividad de mejorar la calidad del agua mediante esta alternativa, información que será fundamental para proponer procesos acordes con las características naturales de la zona.

1.2.1 Antecedentes del problema

Desde el año 1906 se dio inicio al debate sobre la descontaminación del río Bogotá y sus afluentes. En 1989, a partir del estudio desarrollado por la firma BYWATER, y teniendo en cuenta que el distrito aporta la mayor cantidad de carga orgánica al río Bogotá, se propuso como alternativa para el control de los vertimientos provenientes de la ciudad, la construcción de tres plantas de tratamiento de aguas residuales localizadas en la desembocadura de los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo (CAR, 2007).

En 1994, se suscribió el contrato de concesión 15 de 1994 con Degremont y Lyonnaise des Eaux, para el diseño, construcción y operación de la primera fase de la PTAR El Salitre (SDA, 1994), y en 1997 el MAVDT otorgó la Licencia Ambiental al proyecto de descontaminación del río Bogotá mediante la resolución 817. La construcción de la PTAR inició en septiembre del mismo año y entró en operación en el año 2009 (CAR, 2007).

En el año 2000, el distrito adoptó el Plan de Ordenamiento Territorial (POT), para la ciudad mediante el decreto 619 del mismo año. Con respecto al sistema de tratamiento de aguas residuales el artículo 60 del decreto define el cronograma para la construcción del sistema de tratamiento de la ciudad, señalando el desarrollo de la PTAR Salitre Fase II, y la construcción de las PTAR Fucha y Tunjuelo, pero que las alternativas están sujetas a las evaluaciones técnicas, y financieras que se deben desarrollar (CAR, 2007).

En el año 2001, la EAAB contrato a la Unión Temporal Saneamiento del río Bogotá, al Water Research Centre y a la Universidad de los Andes para revisar las

alternativas para la descontaminación del río. La alternativa propuesta fue la ampliación de la PTAR Salitre a 8 m³/s para el tratamiento de las aguas residuales generadas en la cuenca del río Salitre, la recolección de las aguas residuales generadas en las cuencas de los ríos Fucha, Tunjuelo y Soacha por medio de interceptores y el posterior tratamiento de tales aguas en una PTAR localizada en el municipio de Soacha. Con la implementación de esta alternativa se lograría la remoción de la carga contaminante sobre el río en la cuenca media, gracias a la intercepción de las aguas de las cuencas de Fucha, Tunjuelo y Soacha.

En el 2003 se establecieron las Políticas y Estrategias para la Gestión concertada del Desarrollo de la Región Bogotá-Cundinamarca mediante el documento CONPES 3256, en el que se dispuso como un proyecto de inversión de interés común la descontaminación, ordenamiento y manejo integral de la cuenca, y se dispuso que con relación al tema del Río Bogotá, el gobierno en coordinación con las entidades territoriales e instituciones pertinentes, promoverá la formulación de un documento CONPES orientado a definir las acciones que se deben emprender desde los distintos niveles para la descontaminación y manejo integral del río Bogotá, lo que motivo la suscripción del CONPES 3320 en el 2004 denominado estrategia para el manejo ambiental del río Bogotá.

En mismo año, el Distrito modificó el POT de la ciudad de Bogotá a través del decreto 469, disponiendo en el artículo 106, que el sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad tendría como componentes: 1) la PTAR el Salitre, adecuada como una Planta de Tratamiento Primario Químicamente Asistido, hasta el 2007; 2) la construcción de los interceptores Engativa - Cortijo y Fucha - Tunjuelo y la estación elevadora del Tunjuelo; iii) Construcción del interceptor Tunjuelo - Canoas, la estación elevadora Canoas, el interceptor Canoas - Alicachín, y la PTAR de Canoas (CAR, 2007).

En el 2005, la CAR creó a través del Acuerdo 028 de 2005 el Fondo para las Inversiones Ambientales en el Perímetro Urbano de Bogotá, (FIAB), para contar con un

instrumento financiero que garantizara la destinación de los recursos provenientes del 7.5% del impuesto predial que le transfiere el Distrito Capital.

En el 2006, la CAR adopta el Plan de Manejo y ordenamiento de la Cuenca del río Bogotá – POMCA río Bogotá, en el cual establece dentro del programa de Saneamiento básico, la ejecución de los proyectos de Adecuación hidráulica del río Bogotá y la ampliación y optimización de la PTAR EL Salitre. En el mismo año, la entidad definió los objetivos de calidad para la cuenca del río Bogotá a lograr en el año 2020, mediante el Acuerdo 43, estableciendo los criterios y objetivos de calidad mínima que debe tener el río Bogotá en los diferentes tramos de la cuenca.

En el 2007, la CAR y el Distrito Capital, suscribieron el Convenio 171, cuyo objetivo es aunar esfuerzos para contribuir al logro del saneamiento ambiental del río Bogotá. Los proyectos que se enmarcan en el convenio con cargo al FIAB, son el tratamiento de las aguas residuales en el sitio denominado PTAR El Salitre y la Adecuación hidráulica del río Bogotá y con los recursos del Distrito Bogotá, las obras para el manejo de los caudales del río Salitre, Fucha y Tunjuelo.

El proyecto Adecuación Hidráulica y Recuperación Ambiental del río Bogotá se conforma de cuatro componentes: 1. optimización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales el Salitre, 2. adecuación hidráulica y mejoramiento ambiental, 3. agua y planeación ambiental y 4. Administración y gerencia del proyecto (CAR, 2007).

De acuerdo a la presente investigación, el componente que nos interesa es la adecuación hidráulica y mejoramiento ambiental, este componente entiéndase como una etapa inicial de la recuperación del río Bogotá, teniendo en cuenta que a pesar de que en la actualidad es un bien ambiental de la región, su condición no permite el logro de los

objetivos definidos para la región. El mejoramiento ambiental del río se desarrollará en cinco fases: 1) Adquisición de predios, 2) ejecución de obras para el control de inundaciones, 3) mejoramiento de la cobertura vegetal y 4) Creación y/o mejoramiento de áreas multifuncionales e integración al río Bogotá.

1.2.2 Pregunta de investigación

¿La implementación de la adecuación hidráulica en la cuenca media del río Bogotá entre los tramos Puente La Virgen en el municipio de Cota y el sector de Alicachín en el municipio de Soacha, inciden o contribuyen al mejoramiento de la calidad del agua?

1.3 JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se plantea como la necesidad de evaluar la calidad del agua comprendida en el tramo de la cuenca media del río Bogotá, para identificar las alteraciones derivadas de las modificaciones e implementación de la adecuación hidráulica, así como verificar su comportamiento planteado bajo el modelo de adecuación en pro de la recuperación ambiental del Río Bogotá; permitiendo además identificar los usos adecuados del recurso hídrico posterior a la intervención.

Así mismo, se considera verificar si los modelos de diseño empleados en el desarrollo de la adecuación hidráulica son aplicables a las características de la cuenca media del río Bogotá, identificando objetivos puntuales del diseño y si estos están generando modificaciones fisicoquímicas significativas en el recurso hídrico. Lo anterior en busca de generar posibles herramientas que contribuyan a mejorar el modelo de adecuación en otras cuencas y estudiar los aspectos susceptibles a modificaciones de acuerdo a las particularidades ambientales y de diseño de cada zona.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Evaluar el impacto en la calidad del agua del antes y el después de la adecuación hidráulica de la cuenca media del río Bogotá.

1.4.2 Objetivos específicos

Identificar los parámetros fisicoquímicos que se vieron afectados en mayor medida posterior a la adecuación hidráulica.

Realizar el análisis estadístico relacionado con la implementación de la adecuación hidráulica y los parámetros de calidad del agua que se vieron afectados.

Relacionar el potencial de la implementación de la adecuación hidráulica en otras cuencas hidrográficas sin intervención.

2 MARCOS DE REFERENCIA

2.1 MARCO CONCEPTUAL

2.1.1 Calidad del agua

Es el conjunto de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas propias del agua (SDA : EAAB, 2008).

2.1.2 Carga contaminante diaria

Es el resultado de multiplicar el caudal promedio por la concentración de la sustancia contaminante, por el factor de conversión de unidades y por el tiempo diario de vertimiento del usuario, medido en horas. (SDA : EAAB, 2008).

2.1.3 Contaminación del agua

Es la alteración de las características organolépticas, físicas, químicas, radiactivas y microbiológicas del agua, como resultado de las actividades humanas o procesos naturales, que producen o pueden producir rechazo, enfermedad o muerte al consumidor. (SDA : EAAB, 2008)

2.1.4 Cuenca hidrográfica

Entiéndase por cuenca u hoya hidrográfica el área de aguas superficiales o subterráneas que vierten a una red natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar. (SDA : EAAB, 2008)

2.1.5 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente cinco (5) días y 20°C). Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable (SDA : EAAB, 2008).

2.1.6 Demanda química de oxígeno (DQO)

Medida de la cantidad de oxígeno requerida para la oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato en un ambiente ácido y a altas temperaturas (SDA : EAAB, 2008)

2.1.7 Oxígeno disuelto

Concentración de oxígeno medida en un líquido, por debajo de saturación. Normalmente se expresa en mg/l. (SDA : EAAB, 2008).

2.1.8 pH

Logaritmo, con signo negativo de la concentración de iones de hidrogeno en moles por litro (SDA : EAAB, 2008).

2.1.9 POMCA - Plan de Ordenamiento y Manejo de Cuencas

Se orienta a garantizar las condiciones y la oferta de bienes y servicios ambientales adecuadas para el desarrollo económico y el bienestar social en su área de influencia (CAR, 2019).

2.1.10 Vertimiento

Cualquier descarga final al recurso hídrico de un elemento, sustancia o compuesto que este contenido en un líquido residual de cualquier origen, ya sea agrícola, minero, industrial, de servicios, aguas negras o servidas, a un cuerpo de agua, a un canal, al suelo o al subsuelo (SDA : EAAB, 2008)

2.2 MARCO TEÓRICO

A lo largo del documento se ha dejado claro que la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca ha sido el ente encargado de realizar la recuperación ambiental del río Bogotá, sin embargo, existen diferentes investigaciones o trabajos realizados sobre la calidad del agua en la cuenca del río Bogotá realizadas por diferentes entidades, así mismo, se encontraron algunos trabajos de grado enfocados en la calidad del agua, a continuación, se nombraran algunas de las investigaciones que se han realizado.

El Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente de Bogotá (DAMA) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) firmaron el 27 de diciembre de 2002 el convenio interadministrativo No. 041/02 (DAMA) y 198/02 (IDEAM), cuyo objeto es realizar la instalación, el mantenimiento y la operación de la Red de Calidad del Recurso Hídrico de Bogotá, D.C.

En total fueron realizados 574 muestreos a las principales fuentes superficiales y descargas a los ríos Juan Amarillo, Fucha, Tunjuelo y Bogotá; 440 aforos a los ríos Juan Amarillo, Fucha, Tunjuelo y Bogotá; y más de 17.000 análisis, cubriendo un total de 32 parámetros (cadmio, cianuro, coliformes totales, coliformes fecales, cloruro, cobre, conductividad, cromo total, cromo VI, DBO, DQO, fenoles, fósforo disuelto, fosforo total,

grasas y aceite, hidrocarburos, mercurio, níquel, nitrato, nitrito, nitrógeno amoniacal, nitrógeno total, plomo, pH, SSd, SST, sulfato, sulfuro, SAAM, temperatura, turbidez, zinc).

Igualmente se han realizado investigaciones de carácter académico como es el caso de Diaz, (2004), en su tesis de maestría realizó una estimación de la calidad del agua que será entregada por el interceptor río Bogotá en los tramos Fucha – Tunjuelo – Canoas al río Bogotá, para posteriormente comparar los resultados con valores de la calidad del agua del río Bogotá sin la existencia de interceptores.

Posteriormente en el marco del Contrato Interadministrativo 9-07-26100-1059 de 2008, celebrado entre la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB y la Universidad Nacional de Colombia, se acordó la entrega de siete productos técnicos que permitirán alcanzar el objetivo general de “Llevar a cabo la modelación dinámica de calidad del agua del Río Bogotá en su cuenca alta, media y baja, en actividades conjuntas que permitan estimar la capacidad de asimilación de carga contaminante del Río y determinar las condiciones del Río en la actualidad y a futuro, contemplando las obras hoy proyectadas para el saneamiento del mismo.” (EAAB : UNAL, 2009).

Por otra parte, con el fin de conocer el grado de contaminación del sistema hídrico en el Distrito Capital, mediante acuerdo No. 005 de 2006, la Secretaria Distrital de Ambiente y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá aunaron esfuerzos con el propósito de unificar criterios y lineamientos, y de generar una línea base probando un diseño de monitoreo aleatorio que no se había realizado en proyectos anteriores y que ha permitido obtener información técnica sin sesgo de horas, jornadas y días, como también la obtención de la calidad y cargas contaminantes en las fuentes superficiales en las diferentes épocas climáticas.

Para el desarrollo del proyecto las dos entidades establecieron 37 puntos de monitoreo sobre el canal Torca, los ríos Salitre, Fucha, Tunjuelo y la cuenca media del río Bogotá. De estos puntos, 7 son fijos; en cada punto se generaron 20 datos, para un total de 740 y se analizaron 29 parámetros entre físicos, químicos y bacteriológicos.

Este proyecto pretende optimizar las acciones, los proyectos, planes y programas que permitan mejorar la calidad del recurso hídrico de la ciudad, y que la información que tiene posibilite validar los objetivos de calidad proyectados para 2011, los cuales hacen parte integral del saneamiento del río Bogotá. También se espera que la metodología y las herramientas aplicadas en este proyecto puedan contribuir a futuros estudios sobre el sistema hídrico de Bogotá, y que la línea base de calidad generada, sirva de soporte para establecer políticas ambientales y de uso hacia el futuro.

2.3 MARCO JURÍDICO

Tabla 2-1. Marco jurídico

Fuente: Propia

NORMA	CONTENIDO
Ley 99 de 1993	Se crea el Ministerio de medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión medio ambiente y los recursos naturales renovables, se reorganiza el sistema nacional ambiental SINA (LEY 99 DE 1993) y se dictan otras disposiciones.
CONPES 3320	Entidades responsables de las acciones tendientes a la recuperación del río Bogotá, definidas en la política nacional y en la normativa ambiental del país, se establecen en el documento del Consejo Nacional de Política Económica y Social 3320 – (CONPES 3.), para el orden nacional, regional y local.
POMCA	Documento de planeación cuyo objeto es el planeamiento del uso y manejo sostenible de sus recursos naturales renovables, de manera que se consiga mantener o restablecer un adecuado equilibrio entre el aprovechamiento económico de tales recursos y la conservación de la estructura físicobiótica de la cuenca y particularmente de sus recursos hídricos

Decreto 2945 de 2010	Por medio del cual se reglamenta el ejercicio de las actividades de monitoreo, seguimiento y control para el sector de agua potable y saneamiento básico y se dictan otras disposiciones (Decreto 2. , 2010).
Decreto 1594 de 1984	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos
Decreto 386 DE 2008	"Por el cual se adoptan medidas para recuperar, proteger y preservar los humedales, sus zonas de ronda hidráulica y de manejo y preservación ambiental, del Distrito Capital y se dictan otras disposiciones" (Secretaria Distrital De Planeacion)
Decreto 3930 de 2010	Por la cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979 así como el capítulo II del Título VI parte Decreto Ley 2811 de 1974 en cuanto a los usos de agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. (Decreto 3. , 2010)
Decreto 3956 y 3957 de 2009	Normatividad ambiental distrital en el tema de vertimientos. (Resolucion, 3956, 2009)
Decreto 314 de 2006	Decreto 314 de 2006, Adopta el Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado para el Distrito Capital. Artículo 13: lograr la optimización protección y uso racional de los recursos hídricos y reducción de la vulnerabilidad de los sistemas – EJE URBANO REGIONAL.
	Art 198. Proyectos de alcantarillado sanitario y pluvial. Los proyectos previstos están dirigidos a reducir el rezago en los sistemas de drenaje y conducción de aguas negras y lluvias de las cuencas del Salitre, Fucha y Tunjuelo y a la expansión de redes troncales en las zonas por desarrollar.
Acuerdo 43 de 2006	Por el cual se establecen los objetivos de calidad del agua para la cuenca del río Bogotá a lograr en el año 2020.

2.4 MARCO GEOGRÁFICO

La cuenca hidrográfica del río Bogotá está ubicada en el departamento de Cundinamarca. Limita al norte con el departamento de Boyacá, al sur con el departamento del Tolima, al occidente con las cuencas de los ríos Sumapaz, Magdalena, Negro, Minero, Suárez, Blanco, Gacheta y Machetá. La cuenca del río Bogotá está conformada por 45 municipios y el Distrito Capital, como se muestra en la Figura 2-1.

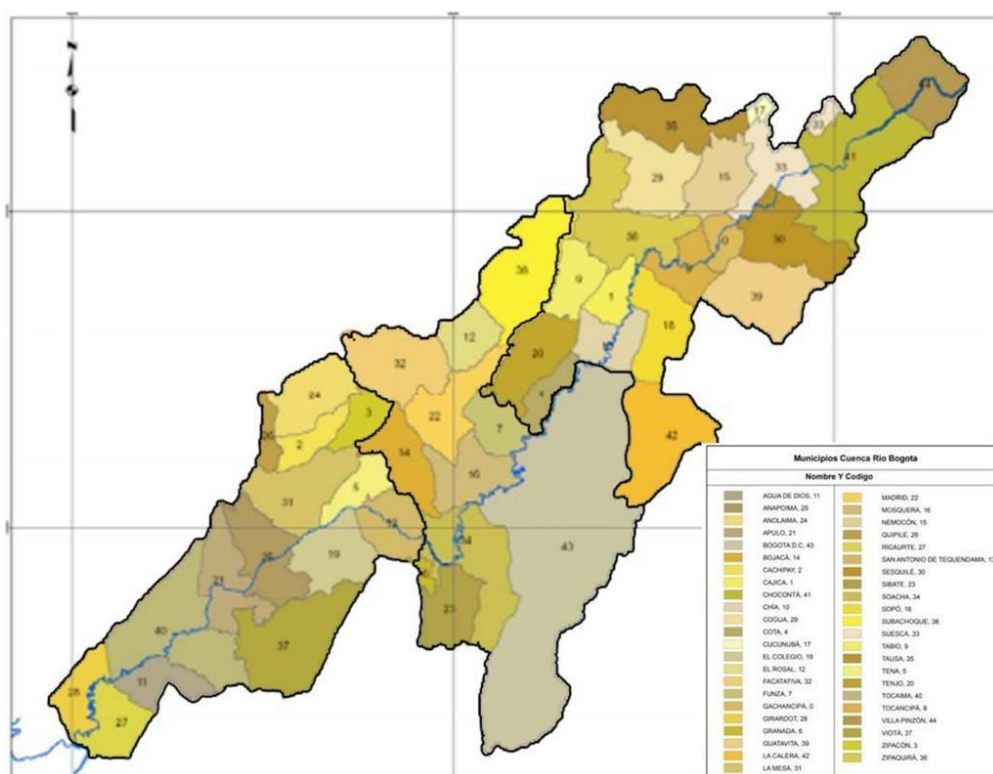


Figura 2-1. Cuenca río Bogotá

Fuente: CAR-subdirección de recursos naturales

El proyecto se desarrolla sobre las áreas adyacentes al río Bogotá, entre la estación Puente La Virgen en el municipio de Cota y las compuertas de Alicachín en el municipio de Soacha, en la cuenca media del río Bogotá, en el departamento de Cundinamarca.

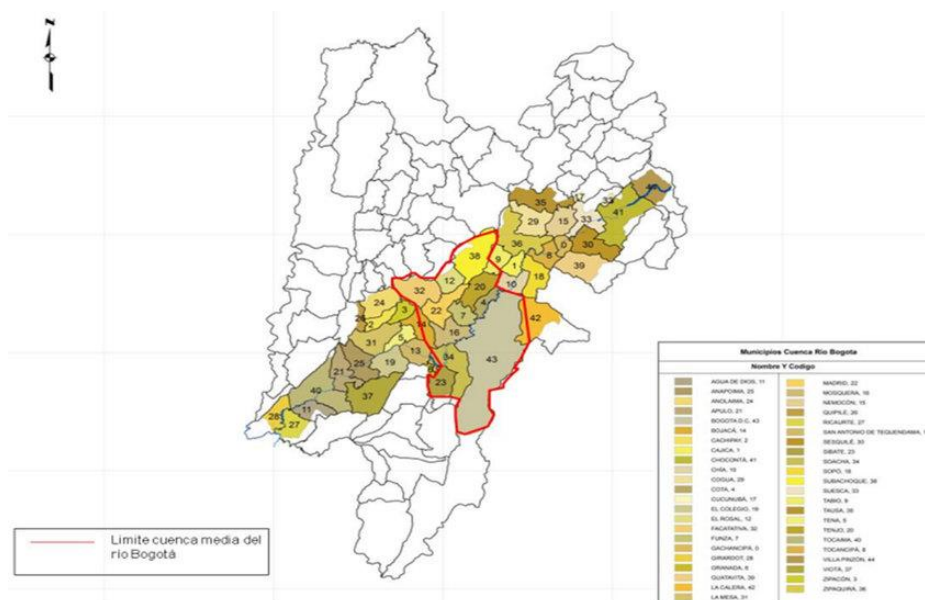


Figura 2-2. Cuenca media río Bogotá

Fuente: CAR-subdirección de recursos naturales

Para efectos de desarrollo del Proyecto, la zona se ha dividido en cuatro tramos así (aguas abajo):

1. Tramo D: Localizado entre el sitio denominado Puente la Virgen en la vía Cota – Suba y la desembocadura del río Juan Amarillo.
2. Tramo C: Comprendido entre la desembocadura del río Juan Amarillo y la desembocadura del río Fucha.
3. Tramo B: Comprendido entre la desembocadura del río Fucha y el río Tunjuelo.

4. Tramo A: Sector comprendido entre la desembocadura del río Tunjuelo y las compuertas de Alicachín.

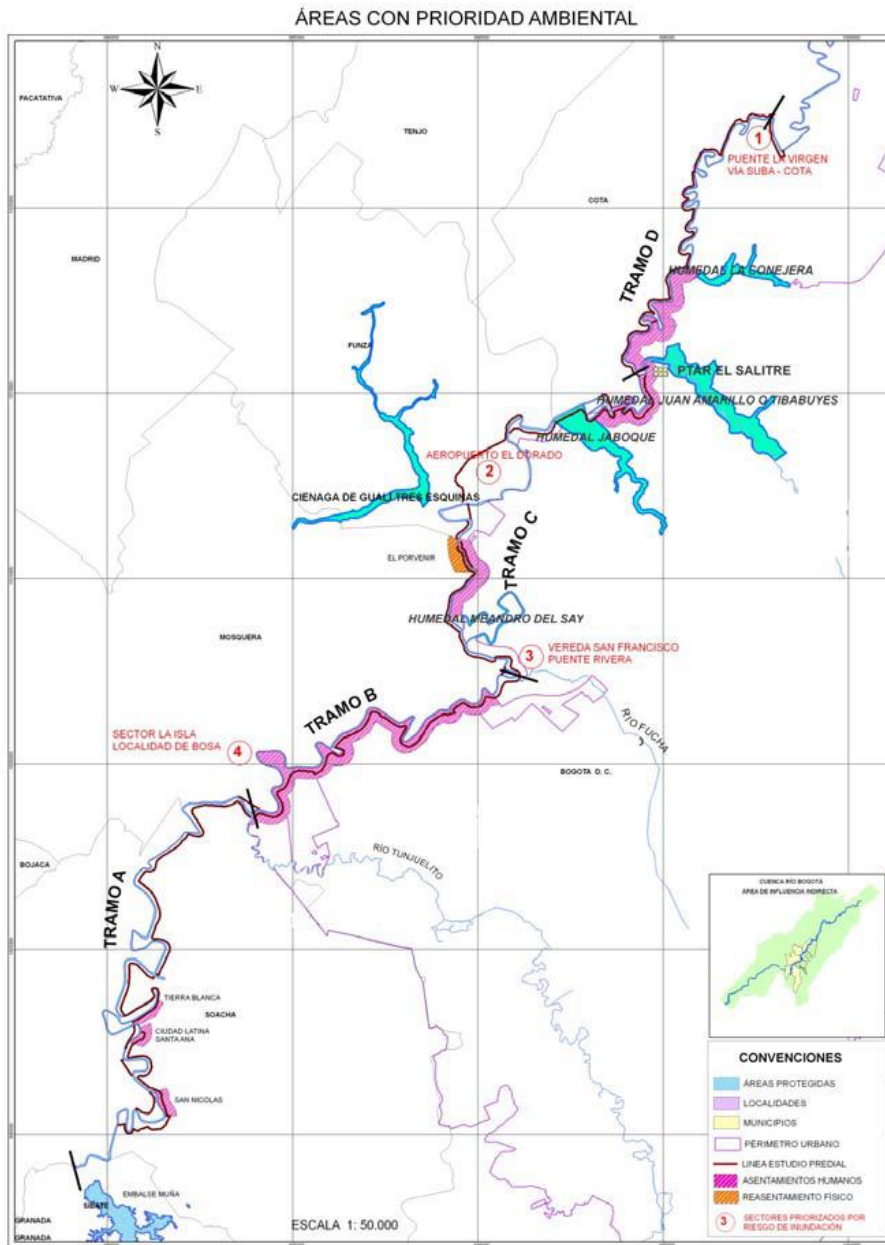


Figura 2-3. Áreas con prioridad ambiental en el proyecto

Fuente: FIAB, 2009

2.5 ESTADO DEL ARTE

La degradación de la calidad de los recursos hídricos es sin duda un problema generalizado en el mundo.

Limita los usos posibles de las aguas, encarece los sistemas de tratamiento para la potabilización, disminuye el valor de las propiedades aledañas a los mismos, atenta contra la salud de la población, favorece la instalación de asentamientos humanos marginales, desalienta cualquier inversión inmobiliaria y constituye un motivo de permanente desazón para los habitantes que diariamente ven estas aguas y se sienten olvidados por los gobernantes (Lobos, 2008).

En el ámbito local existen diferentes proyectos de adecuación y recuperación ambiental de ríos o cuencas hidrográficas, un primer caso es el proyecto para la descontaminación del río Tunjuelo en Cundinamarca, la Alcaldía local de Tunjuelito en coordinación con las industrias de curtiembres, la Secretaría Distrital de Ambiente y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado lideran la agenda de recuperación del río Tunjuelo contemplado en el Plan de Desarrollo Distrital.

El proyecto contempla, la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales que evite verter elementos contaminantes al río Tunjuelo. La planta se construiría en el barrio San Benito y el Distrito financiaría el proyecto con la contribución de los industriales, quienes realizarían sus aportes de acuerdo al volumen de producción que cada uno genere en su industria.

Otro caso que puede clasificarse como adecuación hidráulica es el proyecto de recuperación del río Magdalena, el proyecto contempla la recuperación de la navegabilidad del río Magdalena lo que dará como resultado que el país cuente con una hidrovía

navegable las 24 horas, los 365 días del año, desde Puerto Salgar, hasta su desembocadura en Bocas de Ceniza en el mar Caribe. Con ello, el río Magdalena se convertirá en la principal vía de transporte de carga nacional, garantizando la sostenibilidad ambiental, armonizando el uso de los recursos naturales disponibles, a través de proyectos de desarrollo económico, social y ambiental.

Adicionalmente a las obras de adecuación del cauce del río Magdalena, se destaca la participación de la empresa Consultoría Colombiana SA, la cual se hará cargo de los estudios de impacto ambiental que se puedan presentar como efecto del desarrollo de las obras de encauzamiento del río, dicho estudio contempla las siguientes actividades, 1) caracterización de la zona de influencia del proyecto con una longitud de 256 km, en los medios biótico, abiótico y sociocultural, 2) análisis de demanda, uso, aprovechamiento y afectación de recursos naturales, 3) evaluación y cuantificación de impactos ambientales, 4) formulación de un plan de manejo orientado a prevenir, mitigar, corregir y/o compensar los impactos ambientales y sociales.

En el contexto internacional, se han llevado a cabo proyectos de adecuación y recuperación ambiental de importantes ríos Europeos, un caso concreto es el del río Emscher en Alemania, este es un proyecto de largo plazo, ya que el río Emscher fue utilizado en la Cuenca del río Ruhr durante más de cien años como canal de vertido de aguas residuales.

A comienzos de los años 1990 se decidió construir un gran canal subterráneo para aguas residuales paralelo al Emscher e ir desde Dortmund hasta la desembocadura en el río Rin y adicionalmente se construirán plantas depuradoras de aguas residuales. El proyecto europeo costará 4.500 millones de euros y está planeado concluirlo en el 2020 (Deutschland, 2014).

La obra está ya muy avanzada. Las plantas depuradoras descentralizadas de aguas residuales están ya terminadas. El canal central se halla aún en construcción. Este sistema de canalización, el más moderno del mundo, tendrá 73 kilómetros de largo. Junto con los canales secundarios abarca una superficie de 430 kilómetros cuadrados

Otro proyecto que se destaca es el del río Manzanares en Madrid, España. El proyecto busca mejorar las condiciones del tramo urbano del río Manzanares, contemplado en el Plan de Saneamiento Integral de Madrid.

Para conseguir el objetivo de la recuperación del río han sido necesarias grandes obras de infraestructura, estaciones depuradoras de aguas residuales, colectoras, estudios del cauce del río y de la calidad del agua; control de los vertidos, etc. así como toda una serie de acciones encaminadas a la repoblación piscícola y avícola, que actualmente es una realidad (Sánchez, 1986).

Por último, se destaca el proyecto para la recuperación del río Rin, con aproximadamente 1.300 km de longitud, se origina en los Alpes suizos y atraviesa seis países europeos antes de desembocar en el Mar del Norte, en Holanda. Durante muchos años recibió los residuos procedentes de las zonas industriales, lo que lo llevó a ser conocido en 1970 como la cloaca a cielo abierto de Europa. Por este motivo, los gobiernos de las ciudades afectadas se reunieron en 1987 y crearon el programa de acción del Rin, en el que invirtieron más de 15 mil millones de dólares, para instalar plantas de tratamiento biológico de nitrificación y reducción del fósforo. Con las industrias, se trabajó en el mejoramiento de los procesos de reciclaje, para reducir los productos nocivos y evitar que fueran vertidos al alcantarillado. El resultado es que actualmente el 95% de las aguas residuales de las empresas son tratadas y existen 63 especies de peces que viven allí (Solano, 2016).

3 METODOLOGÍA

Para el análisis del proceso de adecuación hidráulica de la cuenca media del río Bogotá y su incidencia en la calidad del agua entre los tramos la estación Puente La Virgen en el municipio de Cota y las compuertas de Alicachín en el municipio de Soacha, se inicia con la identificación de los puntos de monitoreo y los parámetros de calidad del agua a evaluar. Posteriormente se establecen la temporalidad de estudio y ciclos determinados para la medición de los parámetros; consecutivamente se procede a generar una base de datos históricos que relacionen los parámetros de calidad del agua antes de la implementación de la adecuación hidráulica y después de la adecuación hidráulica en el tramo anteriormente mencionados con el objetivo de realizar un análisis detallado en el impacto de la calidad del agua, de esta manera se identifican y cuantifican datos sobre los parámetros fisicoquímicos que se vieron afectados con la implementación de la adecuación y finalmente el porcentaje de eficiencia bajo el análisis estadístico de los datos recolectados.

3.1 FASES DEL TRABAJO DE GRADO

3.1.1 Fase I. Identificación de los puntos de monitoreo y parámetros de calidad del agua

1. Se identifica el tramo de adecuación hidráulica, la cuenca media del río Bogotá entre los tramos la estación Puente La Virgen en el municipio de Cota y compuertas de Alicachín en el municipio de Soacha, se clasifican y/o filtran trece puntos de monitoreo de calidad hídrica establecidos por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, desde su cota más alta y respectivas coordenadas geográficas para cada punto, aguas abajo del inicio de la adecuación. Seguido de esto se identifican los principales aspectos que enmarcan el recurso hídrico, componentes poblacionales, aspectos naturales,

clima de la región, así como también actividades económicas aledañas a la cuenca media río Bogotá.

2. Se identifican los parámetros de estudio de acuerdo a las clases IV y V definidas por la CAR en el Acuerdo 43 de 2006. Posteriormente se define el periodo de análisis de acuerdo a los datos históricos existentes capturados, analizados y registrados por el laboratorio de la CAR en el primer semestre del año para cada periodo de estudio en este caso antes y después de la adecuación hidráulica en la cuenca media del río Bogotá, con el fin de generar una base de datos.

3.1.2 Fase II. Análisis de los datos

1. En cada ciclo de monitoreo, se estima el parámetro y porcentaje específico de alteración de acuerdo a la implementación de la adecuación hidráulica, con el promedio de datos en cada estación y en cada tiempo. El modelo permite predecir en que tiempo los parámetros de calidad de agua se ven afectados.
2. Se realiza un proceso de seguimiento de acuerdo a los ciclos de monitoreo establecidos para la cuenca media del río Bogotá mediante el acuerdo 43, desde (T1) antes de la adecuación hidráulica hasta (T2) después de la adecuación hidráulica con el fin de evaluar la incidencia en la calidad del agua.

3.1.3 Fase III. Análisis de resultados

1. Se realizan análisis estadísticos mediante el cálculo de la Media y la desviación estándar, interpretación de los parámetros y comportamiento de las tendencias de calidad del agua; empleando Microsoft Excel. Finalmente, se evalúa el potencial de la adecuación hidráulica en términos de calidad del agua para implementar en cuencas hidrográficas sin intervención.

3.2 INSTRUMENTOS O HERRAMIENTAS UTILIZADAS

El principal instrumento para el desarrollo de la investigación es el análisis de documentos disponibles en los archivos de la CAR y otras entidades, a continuación, se nombrarán algunos documentos de consulta:

1. Documento general de la FIAB
2. Programa general de muestreo cuenca rio Bogotá
3. Evaluación ambiental y plan de gestión ambiental
4. Boletines de calidad hídrica
5. Acuerdo 43 de 2006
6. Plan de ordenamiento y manejo de cuencas

Otras herramientas utilizadas para el desarrollo del presente documento son los softwares para el análisis estadístico de los datos y para la georreferenciación de la zona de estudio y puntos de monitoreo:

1. Microsoft Excel y otros softwares para análisis estadístico
2. Google Earth
3. Google My Maps

3.3 ALCANCES Y LIMITACIONES

3.3.1 Alcances

El alcance de la investigación busca evaluar la incidencia en la calidad del agua mediante la implementación proyecto de la adecuación hidráulica en el tramo de la cuenca media del río Bogotá, teniendo en cuenta que la cuenca media es un recurso hídrico utilizado como un activo para la región y para la ciudad de Bogotá. La investigación abarca la identificación y evaluación de los parámetros físico químicos antes de la implementación del proyecto de adecuación y después de la adecuación hidráulica. Mediante la investigación

pretendemos hacer un diagnóstico del potencial de implementación de adecuación hidráulica y si estas ayudan a mejorar parámetros físico químicos de la calidad hídrica, para así emitir un concepto sobre el uso de esta metodología como estrategia de recuperación de cuencas hidrográficas.

3.3.2 Limitaciones

A continuación, mencionaremos una serie de limitaciones que consideramos pueden dificultar el desarrollo de la investigación:

1. Restricción de la información por parte de las entidades encargadas
2. Información o datos incompletos
3. Escasez de investigaciones relacionadas para uso de referencias

4 RESULTADOS

4.1 FASE I

4.1.1 Características de la zona de influencia del proyecto

La descripción por tramo se realiza aguas abajo del punto donde inician las obras de adecuación hidráulica.

- **Tramo D**

En este tramo se evidencia la transición entre las áreas destinadas al desarrollo urbanístico y las zonas con vocación agropecuaria, como se evidencia en la Localidad de Suba, donde la zona urbana está densificada, pero colinda con una Unidad de Planeación Rural, donde el uso principal del suelo es agropecuario.

Las características del tramo permiten el desarrollo de un tratamiento urbano-paisajístico tipo parque lineal que armonice la zona perimetral al cauce del río Bogotá, con los desarrollos urbanos existentes y proyectados.

- **Tramo C**

Es una zona con una alta complejidad ambiental y urbanística donde se observan áreas de gran interés ecológico y componentes urbanos sensibles. Entre las áreas de interés ecológico están los humedales Meandro del Say, Jaboque, La Florida, Juan Amarillo y una serie de humedales y meandros en la zona alta del tramo.

Los principales componentes urbanos son las urbanizaciones del municipio de Mosquera y de la localidad de Fontibón, y las operaciones del aeropuerto El Dorado, la infraestructura vial de la calle 13, calle 80 y avenida José Celestino Mutis y el Ferrocarril de Occidente.

- **Tramo B**

En esta zona se evidencia la transición entre las áreas con vocación agropecuaria y las destinadas al desarrollo urbanístico. Las características del tramo permiten el desarrollo de un tratamiento urbano-paisajístico tipo parque lineal que armonice la zona perimetral a la ronda hidráulica del río Bogotá, con los desarrollos urbanos existentes y proyectados.

Aunque en el área se reconoce un menor número de áreas de interés ecológico, se destaca la presencia del meandro Vuelta Grande y de la confluencia de los ríos Tunjuelo y Fucha. En las áreas urbanas se encuentra una zona utilizada para la disposición de materiales de excavación y lodos provenientes de la PTAR El Salitre, que es administrado por la EAAB y las zonas residenciales pertenecientes a las localidades de Bosa y Kennedy del Distrito Capital.

- **Tramo A**

Área con vocación para la recuperación ambiental, debido a la multiplicidad de áreas de interés ecológico y a los usos del suelo que en su mayor parte corresponden a agropecuarios.

Entre las áreas de interés ecológico se resaltan las zonas bajas en el municipio de Soacha, los meandros Tequendama y Canoas-Indumil, el Lago Canoas, el Cerro Coclí y el parque La Atalaya, que adicionalmente cuenta con un valor arqueológico para la región. De las áreas urbanas vale la pena resaltar la presencia de tres áreas residenciales en el municipio de Soacha, denominadas San Nicolás, Ciudad Latina y Santa Ana.

4.1.2 Identificación de las estaciones de monitoreo de calidad hídrica

Una vez identificada la cuenca de estudio, se procedió a identificar las estaciones de monitoreo de calidad hídrica, los cuales son jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). En total fueron identificados 13 estaciones de monitoreo las cuales miden diferentes parámetros de calidad del agua, de los cuales la CAR genera informes semestrales. Para la cuenca media se miden parámetros orgánicos, nutrientes, solidos, y parámetros de interés sanitario los cuales son medidos para las clases IV y V establecidos en el Acuerdo 43 de 2006 los cuales están destinados para uso agrícola, pecuario e industrial. En la tabla 4-1 se muestran las estaciones identificadas con sus respectivas coordenadas.

Tabla 4-1. Identificación de las estaciones de calidad hídrica en la cuenca media del río Bogotá.

Fuente: Propia

Código punto	Nombre del punto de monitoreo	Norte (Y)	Este (X)
83	Estación LG - Pte La Virgen	1022443	997939
86	LM Vuelta Grande	1017121	994642
90	El Cortijo	1014640	994485
93	Aguas abajo Engativá	1013679	990724
125	LG Pte. Cundinamarca	1011064	989518
126	LM Hda. San Francisco	1007794	990777
129	Aguas abajo Río Fucha	1007407	990545
131	LG La Isla	1003660	984472
182	Aguas abajo Río Tunjuelo	1004000	983635
183A	Aguas Abajo Río Balsillas	1001927	980781
186	LG Las Huertas	998043	980665
187	Pte. Variante Mondoñedo	994362	979913
196	Aguas arriba Salto Tequendama	994255	978844

En la figura 4-1 se presenta la ubicación georreferenciada de las estaciones de monitoreo a lo largo de la cuenca media del río Bogotá.

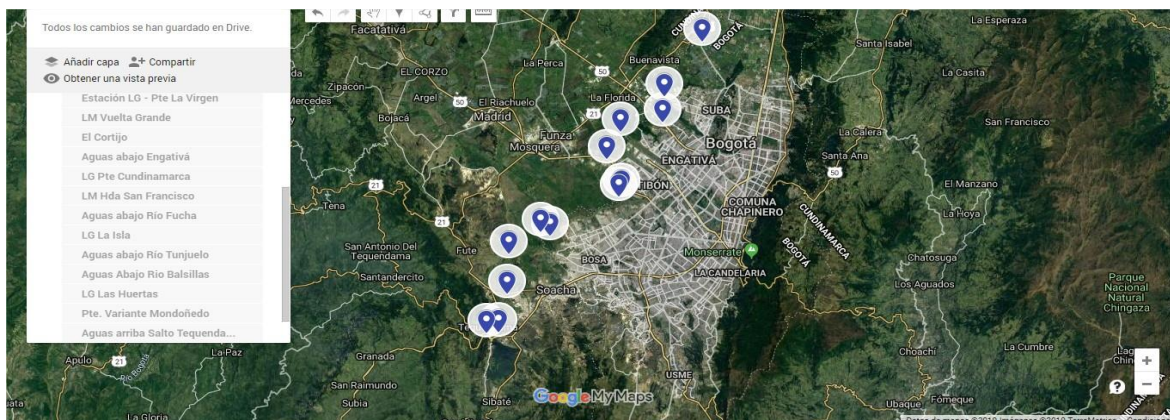


Figura 4-1. Georreferenciación de las estaciones de monitoreo.

Fuente: Propia

Identificadas las estaciones de monitoreo de calidad hídrica, se procedió a definir los parámetros a evaluar de acuerdo al Acuerdo 43 de 2006, como se mencionó anteriormente, los parámetros que se midieron son los establecidos para las clases IV y V correspondiente a usos agrícolas con restricciones, pecuarios e industriales. En la figura 4-2 se muestran las 5 clases definidas por la CAR y los respectivos usos.

CLASE	DESCRIPCIÓN	DBO (mg/L)	SST (mg/L)	OD (mg/L)	CT (NMP/100ml)
CLASE I	Corresponde a los valores asignados para uso humano y doméstico con tratamiento convencional, uso agrícola con restricciones y uso pecuario e industrial.	7	10	4	5000
CLASE II	Corresponde a los valores asignados para uso de consumo humano y doméstico con tratamiento convencional, preservación de Flora y Fauna, uso agrícola y pecuario.	7	10	>4	20000
CLASE III	Corresponde a los valores asignados a la calidad de los embalses, lagunas y humedales y demás cuerpos lentos, ubicados dentro de la cuenca del río Bogotá	20	20	>4	5000
CLASE IV	Corresponde a los valores de los usos de agua para usos agrícolas con restricciones y pecuarios	50	40	NA	20000
CLASE V	Corresponde a los valores de los usos de agua para generación de energía y usos industrial	70	50	NA	NA

Figura 4-2. Clases y usos en la cuenca del río Bogotá.

Fuente: Acuerdo 43 de 2006.

En el acuerdo 43 del 17 de octubre de 2006 “*Por el cual se establecen los objetivos de calidad del agua para la cuenca del río Bogotá a lograr en el año 2020*”, también se establece que para realizar el diagnóstico actual de la calidad del agua de la cuenca su trayecto se dividió en cinco tramos en razón de sus características físicas y de uso. Posteriormente se fijan las clases (V clases) a mérito del consejo directivo de la corporación autónoma regional de Cundinamarca donde se clasifican usos y valores de los parámetros de calidad a aplicar por clase con el fin de articular las acciones propuestas en el CONPES 3320 de 2004 respecto a los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos y todos los programas y proyectos del nivel nacional, departamental y municipal que se pretendan adelantar para la descontaminación y desarrollo en general de la cuenca del río Bogotá, cabe mencionar también el acuerdo 1076 de política nacional de calidad de aguas en el cual se fijan criterios de calidad a cumplir, inmersos en el acuerdo 43 de 2006 con fines semejantes como el ordenamiento del recurso hídrico, objetivos de calidad a alcanzar en el corto, mediano y largo plazo, establecer programas de seguimiento con el propósito de verificar eficiencia y efectividad en ordenamiento del recurso hídrico entre otros.

En la tabla 4-2 se definen los parámetros a evaluar de acuerdo a las clases mencionadas.

Tabla 4-2. Parámetros a evaluar de acuerdo a las Clases IV y V.

Fuente: Propia

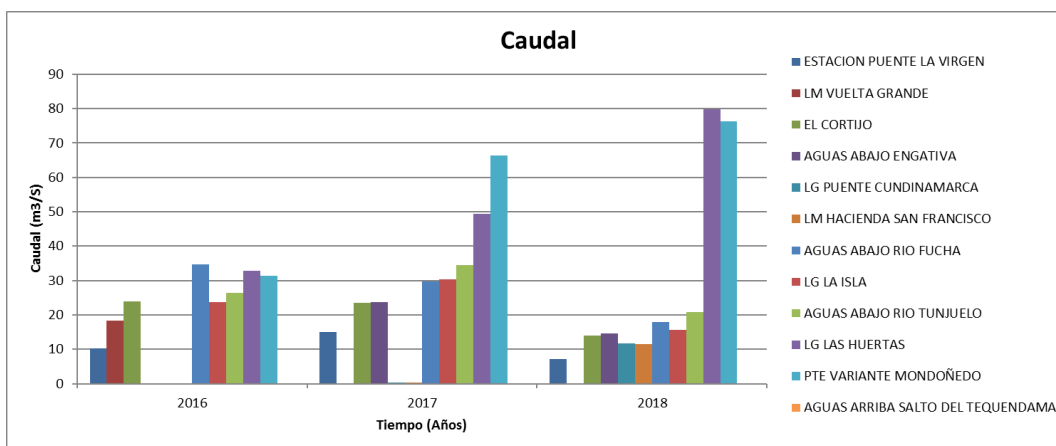
Parámetro	Clases	Valor a cumplir
DBO5	Se fija para Clase IV y V	50 - 70 mg/L
Oxígeno D.	No se fija, pero se mide	
Coliformes T.	Se fija para clase IV	20000 NMP/100 ml
Nitritos	Se fija para clase IV	10 mg/L
SST	Se fija para clase IV y V	40 - 50 mg/L
Aluminio	Se fija para la clase IV	5 mg/L
Boro	Se fija para la clase IV y V	0,3 - 0,4 mg/L
Hierro	Se fija para la clase IV y V	5 mg/L
Manganeso	Se fija para la clase IV y V	0,2 mg/L
pH	Se fija para la clase IV y V	4,5 - 9 Unidades

Cabe aclarar que dentro de los parámetros a evaluar también se solicitaron mediciones de Caudales, temperatura y conductividad, los cuales a criterio de los autores y asesora influyen en la calidad del recurso hídrico.

4.2 FASE 2

4.2.1 Comportamiento del caudal en la cuenca media río Bogotá

4.2.2



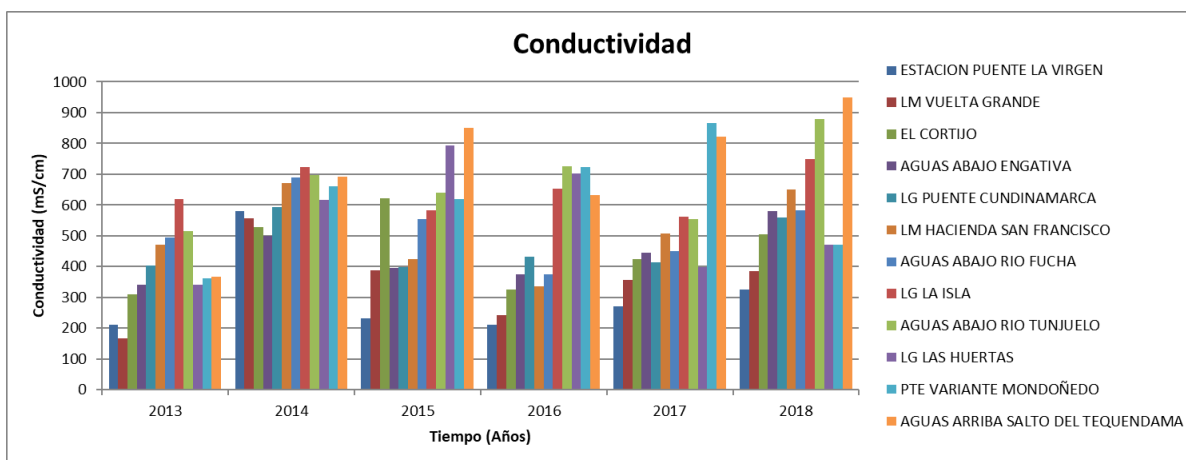
Gráfica 4-1. Comportamiento del caudal.

Fuente: Propia

En la gráfica 1 se evaluó el caudal en las estaciones de monitoreo anteriormente descritas desde el periodo de 2016 hasta el 2018 debido a la inexistencia de datos anteriores por parte de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Se evidencia que el comportamiento del caudal tiende a aumentar en las estaciones aguas abajo de la cuenca media del río Bogotá, para el año 2016, el caudal mantuvo un comportamiento similar en todas las estaciones, por debajo de los 30000 L/S, solo en las estaciones LG la isla, LG las huertas y PTE variante Mondoñedo supero ese valor, lo cual se atribuye a épocas de mayor precipitación. Para el periodo de 2017 se observa un aumento significativo en la mayoría de las estaciones de monitoreo, lo cual pudo haber influido en algunos de los parámetros que

se evaluaron posteriormente. Las estaciones de LG las huertas y PTE variante Mondoñedo registraron un aumento en el caudal importante para los periodos 2017 y 2018, llegando a registrar 80000 L/S, este comportamiento se atribuye a que en estos periodos se registraron precipitaciones por encima de la media anual en la mayor parte del territorio nacional, otra observación destacada que se puede inferir en el comportamiento de los caudales registrados para la cuenca media rio Bogotá son la oferta hídrica de sus tributarios y la incidencia del ciclo hidrológico (meses secos y meses húmedos), también puede considerarse la demanda de agua que ejercen en cada subcuenca entre las que se destacan uso agropecuario, doméstico e industrial frente a la oferta hídrica disponible.

4.2.3 Conductividad



Gráfica 4-2. Comportamiento de la conductividad.

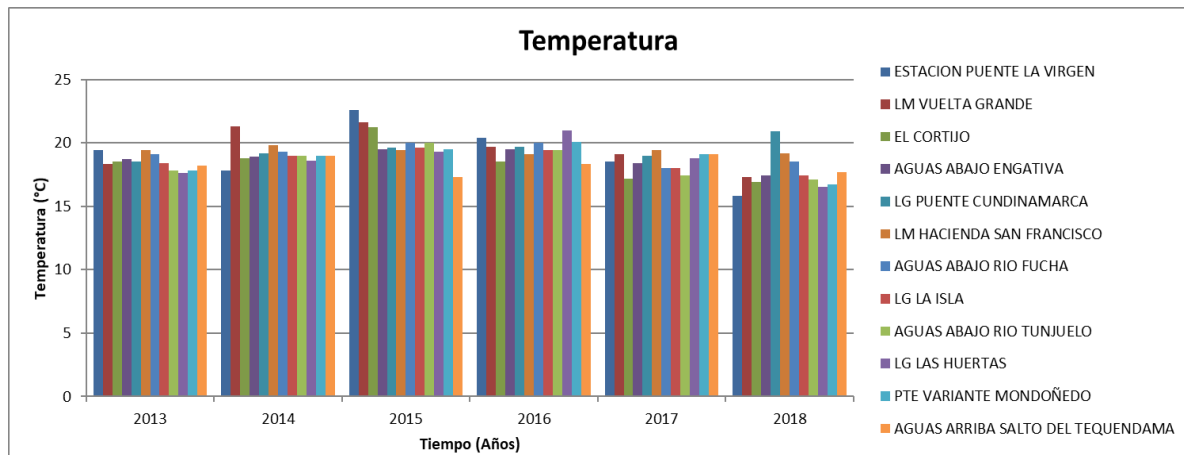
Fuente: Propia.

La conductividad es un parámetro fisicoquímico que tiene un comportamiento variable de acuerdo al punto de monitoreo y la carga contaminante transportada a través del viaje del agua. En los resultados registrados en el grafico 2 se muestra cómo se comporta este parámetro respecto a los periodos de tiempo evaluados por cada estación. En la estación de monitoreo LG la Isla para el periodo 2013 el valor de la conductividad llega a 180 ms/cm, así mismo aguas abajo para la estación de LM Vuelta Grande donde alcanza un

valor máximo de 600 ms/cm aproximadamente. Este fenómeno variable con tendencia a aumentar aguas abajo se presenta de manera similar para los siguientes periodos de análisis en cada una de las estaciones de monitoreo, es importante rescatar que para el periodo de 2014 cuando se da inicio a las obras de adecuación hidráulica se identifica que la conductividad aumentó en todas las estaciones de monitoreo con respecto al año 2013, alcanzando valores entre los 500 y 720 (ms/cm) aproximadamente. De la misma forma se comprueba que este periodo tuvo un comportamiento similar respecto a los otros 5 periodos de estudio, para el periodo de 2015 en las estaciones LG Las Huertas y Aguas Arriba Salto del Tequendama presentaron picos entre los 780 y 900 (ms/cm) aproximadamente tomando los valores más altos para el mismo periodo, como se observa previamente en el grafico; para los periodos 2016 y 2017 tienen un comportamiento similar a lo anteriormente mencionado a excepción del año 2018 donde la conductividad supera los 900 (ms/cm) en la estación Aguas Abajo Salto del Tequendama a comparación de las restantes estaciones monitoreadas y periodos de tiempo analizados; desde otro punto de vista este parámetro en la Estación Puente La Virgen en los seis periodos de monitoreo se comporta de manera constante entre rangos de 200 y 315 (ms/cm); este comportamiento puede atribuirse al aumento de la precipitación, lo cual incide en el caudal que a su vez tiene efecto en el aumento de la conductividad en las estaciones mencionadas.

4.2.4

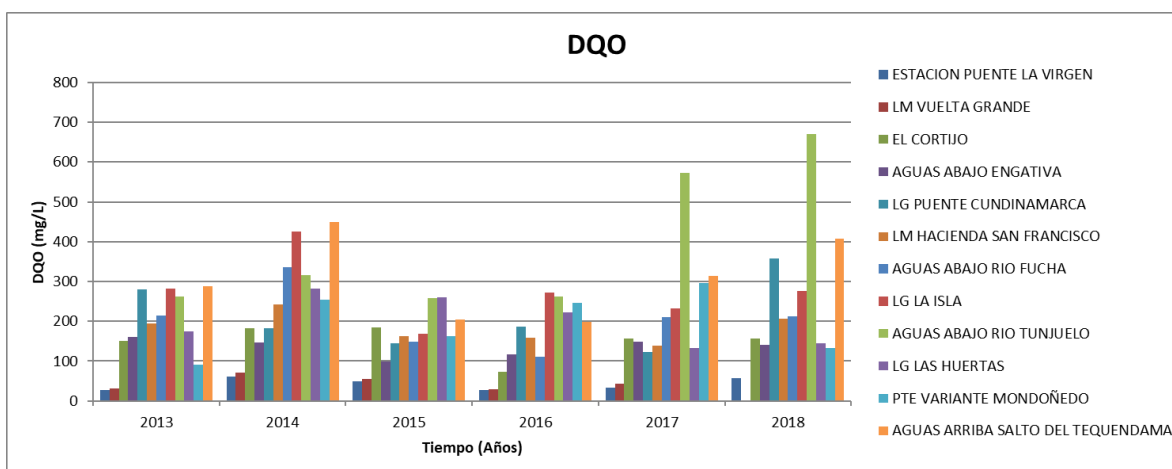
4.2.5 Temperatura



Gráfica 4-3. Comportamiento de la temperatura.

Fuente: Propia.

4.2.6 La temperatura como se observa en el grafico 3 presenta un comportamiento estable en cada una de las estaciones de monitoreo durante los seis periodos. También se puede establecer que el rango de temperatura esta entre los (16 - 23°C) para la cuenca media del río Bogotá entre los años 2013 y 2018. La mayor parte de la masa de agua en los 68 kilómetros (tramo de adecuación hidráulica cuenca media río Bogotá) de recorrido desde la Estación Puente La Virgen hasta aguas arriba salto del Tequendama sufre fluctuaciones en el clima muy similares, así como la variación altitudinal, motivo por el cual la temperatura del agua no varía considerablemente. Demanda química de oxígeno (DQO).



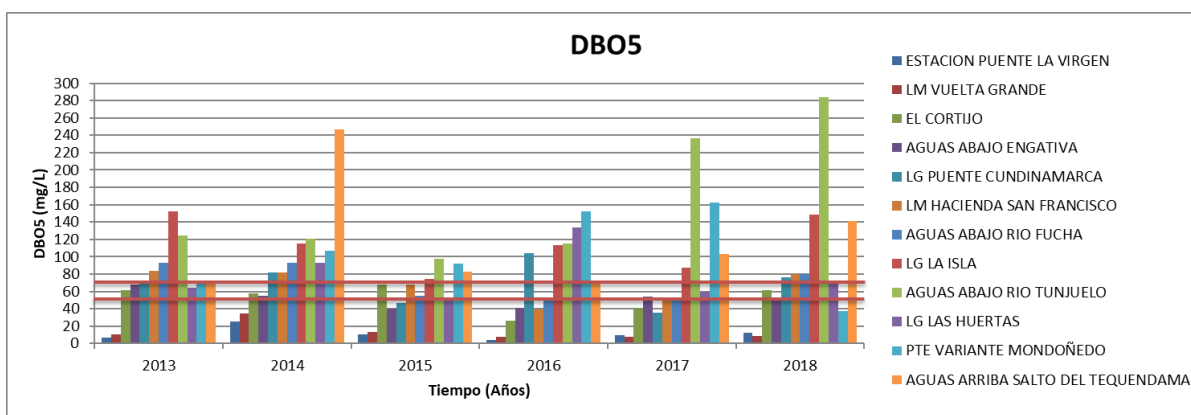
Gráfica 4-4. Comportamiento del DQO.

Fuente: Propia.

La demanda química de oxígeno tiene concentraciones similares en las estaciones Puente la Virgen y LM Vuelta Grande para los seis periodos de estudio como se observa en el gráfico 4. Este valor no supera los 50 mg/L, aunque el río Bogotá recibe su primer impacto relevante de contaminación en la parte alta de la cuenca en el municipio de Villa Pinzón y Chocontá donde le llegan aguas residuales producto de curtiembres y tineries. Sin embargo, la capacidad depuradora, el efecto de los sistemas de tratamientos de los vertidos

municipales sumado al incremento del caudal aportado por los tributarios que se encuentran en su trayectoria propician que recupere parte del oxígeno. Desde otro punto de vista se percibe que aguas abajo de la estación LM Vuelta Grande la concentración de la DQO aumenta y se mantiene por encima de los 100 mg/L en todas las estaciones de monitoreo durante los 6 periodos de estudio. Es importante resaltar que para los periodos de 2017 y 2018 la DQO estuvo entre los 550 y 700 mg/l y en la estación de monitoreo aguas abajo río Tunjuelo como se muestra en el gráfico 4, se encuentra la concentración más alta en el parámetro monitoreado. Este hecho se puede atribuir al aumento que se evidencia en el caudal (grafica 1), desde otro punto de vista a medida que el río Bogotá atraviesa la zona urbana de la capital la calidad del agua cambia con los grandes aportes de carga contaminante de los ríos Salitre, Fucha, Juan Amarillo y Tunjuelo los cuales transportan grandes cantidades de toneladas diarias de desechos orgánicos lo cual puede incidir en la alteración de este parámetro.

4.2.7 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)



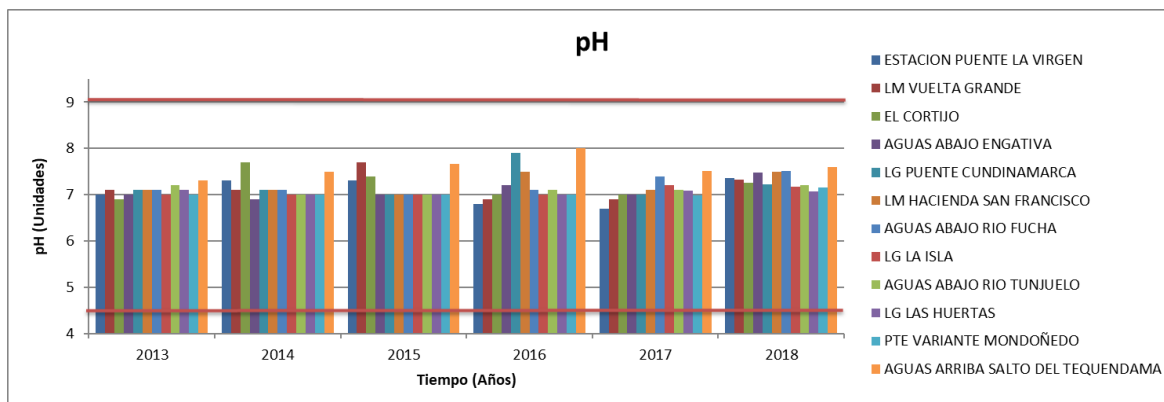
Gráfica 4-5. Comportamiento del DBO5.

Fuente: Propia.

En el grafico 5, se pueden observar los rangos permisibles bajo el acuerdo 43 de 2006 “Por el cual se establecen los objetivos de calidad del agua para la cuenca del río Bogotá a lograr en el año 2020” donde se determinan los valores límites a cumplir (50 –

70 mg/l) para la demanda biológica de oxígeno (DBO₅) en las clases IV Y V. Se identifica que las estaciones Puente la Virgen y LM Vuelta Grande registran concentraciones por debajo de 20 (mg/l) en los seis periodos de tiempo de estudio. Por otro lado, es evidente que aguas abajo de la estación de monitoreo El Cortijo se registran concentraciones muy variables para cada una de las estaciones en los diferentes periodos de tiempo. Se observa el primer pico de concentración en la estación Aguas Arriba Salto del Tequendama en el año 2014 con un registro de 270 (mg/l) aproximadamente. Esto se puede explicar considerando la cantidad importante de carga contaminante que recibe el río Bogotá tras la descarga de aguas residuales no tratadas, vertimientos domésticos y el inicio de la adecuación hidráulica. Por otro lado, se observa que para los periodos de 2017 y 2018 se presentan picos de concentración que registran valores de 240 y 280 (mg/l) respectivamente. Este fenómeno pudo estar relacionado con el aumento de la precipitación, por el incremento de material suspendido y el arrastre que genera el crecimiento del caudal en el río. Por otra parte, en el gráfico 5 se pueden observar unas barras horizontales las cuales representan los estándares fijados en el acuerdo 43 de 2066 para este parámetro. Teniendo en cuenta lo anterior, para la clase IV solo cumplen un 33% de las estaciones de monitoreo, para la clase V se observa que también un 33% cumple con este límite, por lo que se estima que entre un 40 a 35% incumplen con el límite fijado en el acuerdo 43 de 2006.

4.2.8 Potencial de Hidrogeno (pH)

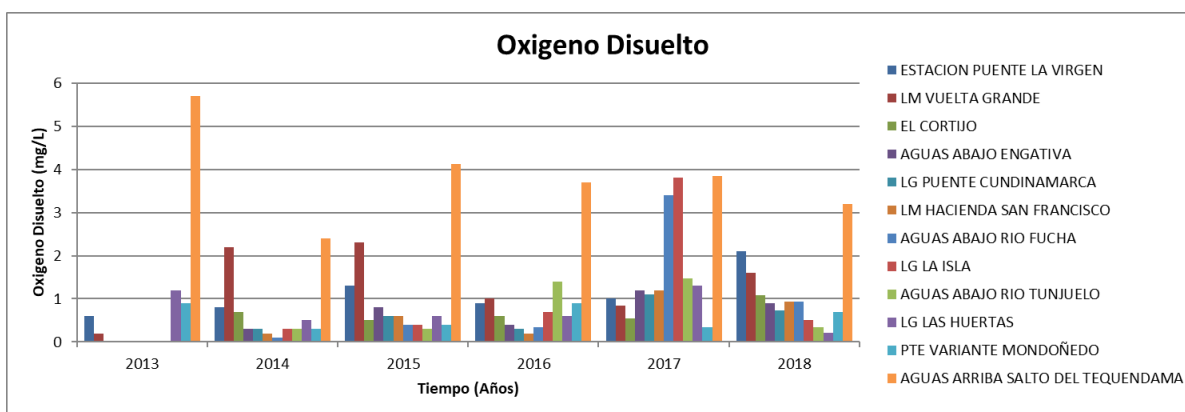


Gráfica 4-6. Comportamiento del pH.

Fuente: Propia.

De acuerdo a la información reflejada en el gráfico 6 se establece que el potencial de hidrógeno (pH) se comporta constante a través de los 6 periodos de tiempo con una media de 7 unidades. La estación Aguas Arriba Salto del Tequendama, muestra picos en los 6 periodos de evaluación, siendo el más significativo el del año 2016, registrando un valor de 8 unidades de pH sin embargo, no es un valor que se aleje significativamente de la media que se obtuvo. En el acuerdo 43 de 2006 se fijan límites para la clase IV y V entre 4,5 y 9 unidades de pH. Teniendo en cuenta lo anterior se observa que, en los 6 periodos, se incumple para el límite fijado en la clase IV superando las 4,5 unidades de pH, para la clase V se estaría cumpliendo en el 100% de la cuenca media del río Bogotá puesto que los valores están por debajo de las 9 unidades de pH.

4.2.9 Oxígeno disuelto (OD)



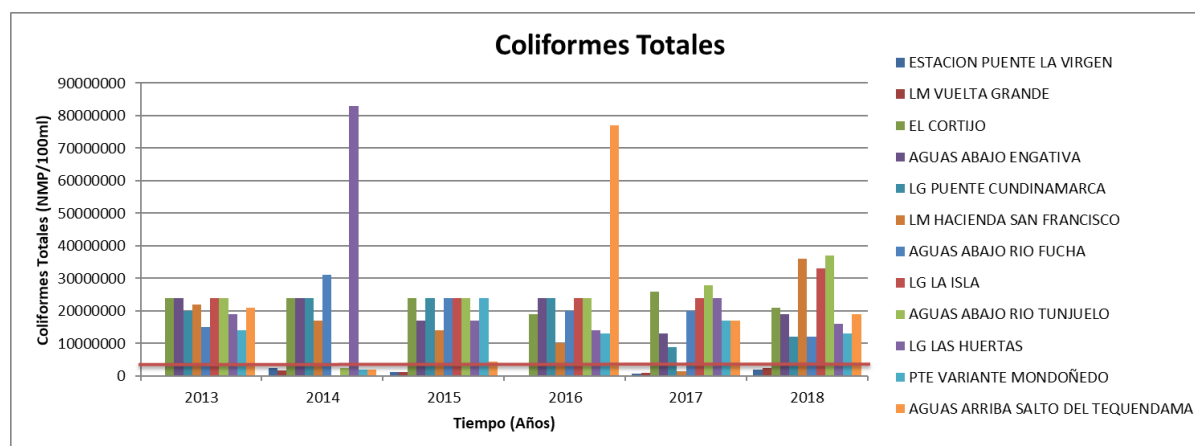
Gráfica 4-7. Comportamiento del Oxígeno Disuelto.

Fuente: Propia.

En el gráfico 7, se evaluó el oxígeno disuelto, parámetro con el cual se identifican las condiciones aeróbicas y anaeróbicas de la cuenca media río Bogotá. En los seis periodos de monitoreo se observa la presencia de OD en la estación de Aguas arriba del salto del Tequendama, puesto que se registran picos significativos siendo el más representativo el

del periodo del 2013 con un valor de 6,6 (mg/L), este fenómeno puede darse debido a que antes de la caída en el salto del Tequendama aumenta la turbulencia y esto hace que aumente el oxígeno disuelto., cuando el caudal del río realiza su tránsito por la zona urbana de Bogotá y el municipio de Soacha produce el 83% de la carga orgánica, frente al 17% del resto de los municipios aguas arriba de este punto. Así mismo, observamos que en cinco de los seis periodos de monitoreo el OD tiene una media de 1,02 (mg/L), sin presentar variaciones considerables. En 2017, se observa que los valores incrementaron un poco con respecto a los demás periodos, registrando picos en las estaciones Aguas Abajo Rio Fucha y LG la isla, este comportamiento se atribuye a que este año la precipitación media fue mayor a lo registrado en años anteriores.

4.2.10 Coliformes totales



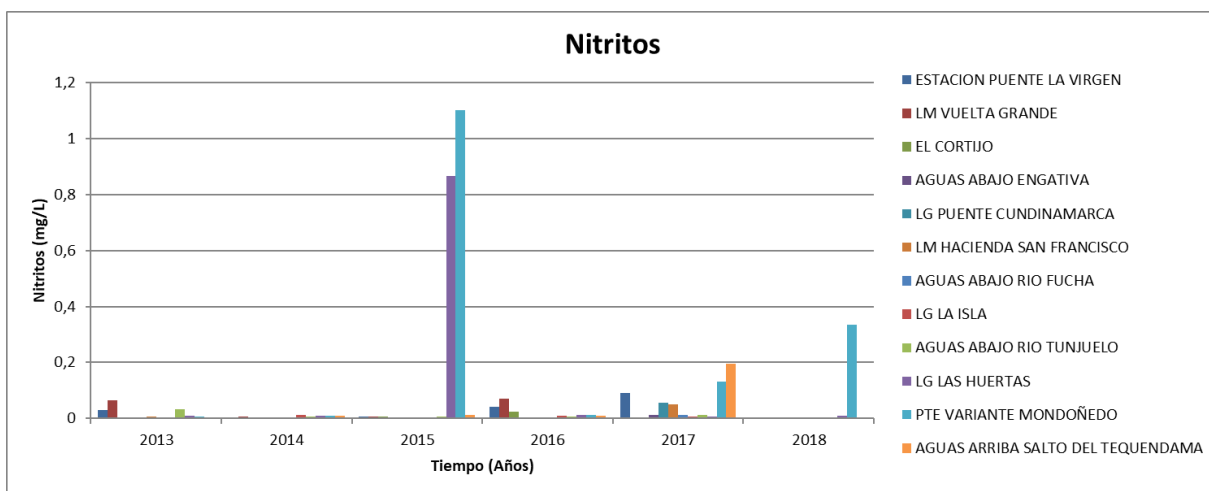
Gráfica 4-8. Comportamiento de coliformes totales.

Fuente: Propia.

En la gráfica 8, los coliformes totales muestran un comportamiento variable, en el año 2014, se registra un pico en la estación LG las huertas, en este sector de la cuenca media se encuentra una fábrica de concreto de la empresa Cemex, lo cual podría incidir por causa de alguna descarga de contaminante, sin embargo, no encuentran registros de

descargas al río lo cual está prohibido por las autoridades ambientales, otro aspecto que podría incidir en este fenómeno es que este sector se encuentra próximo al salto del Tequendama por lo tanto el río trae un caudal más elevado y trae consigo el arrastre de solidos coloidales y solidos disueltos de la cuenca aguas arriba. En el año 2016, se registra un pico similar en la estación aguas arriba del salto del Tequendama, en este sector de la cuenca media la estación de monitoreo está ubicada posterior a la estación de bombeo del Muña en cercanía a la cabina de peaje el nuevo salto, no se identifica una posible causa de este comportamiento, puede estar atribuido al arrastre de basuras y de solidos coloidales y disueltos aguas arriba de la cuenca. Para los demás periodos de monitoreo, el comportamiento de los coliformes totales se mantiene constante con una media de 17000000 (NMP/100mil). En el acuerdo 43 de 2006 se fija un límite de 20000 (NMP/100mil) para la clase IV, como se indica en la gráfica 8 representado con la barra horizontal. Además, se puede afirmar que solo un 33% de las estaciones aproximadamente cumplen con este límite, entre el 67% y 70% de las estaciones superan este límite, por lo cual se estaría incumpliendo con el acuerdo.

4.2.11 Nitritos

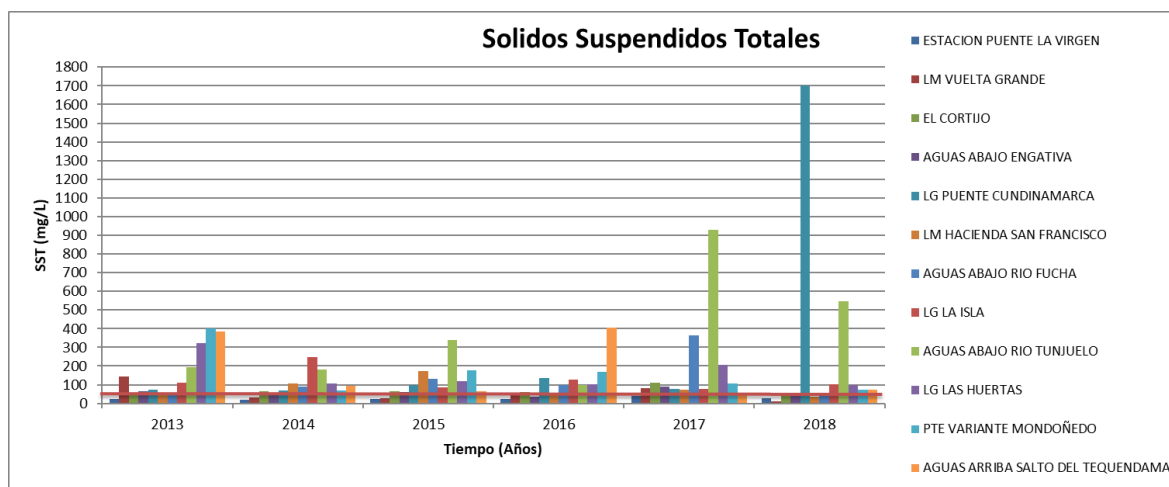


Gráfica 4-9. Comportamiento de nitritos.

Fuente: Propia.

En la gráfica 9, se evaluó el parámetro de nitritos, como se puede observar los registros de este nutriente obtenidos por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca fueron muy bajos. Los picos más significativos se obtuvieron en el periodo del 2015, en las estaciones LG las huertas y PTE variante Mondoñedo y son menores a 1,2 (mg/L). Este parámetro se mide para el Acuerdo 43 de 2006, fijando un límite de 10 (mg/L), por la escala manejada en la gráfica no es posible señalar el límite, sin embargo, el 100% de las estaciones de la cuenca media del río Bogotá cumple con este estándar.

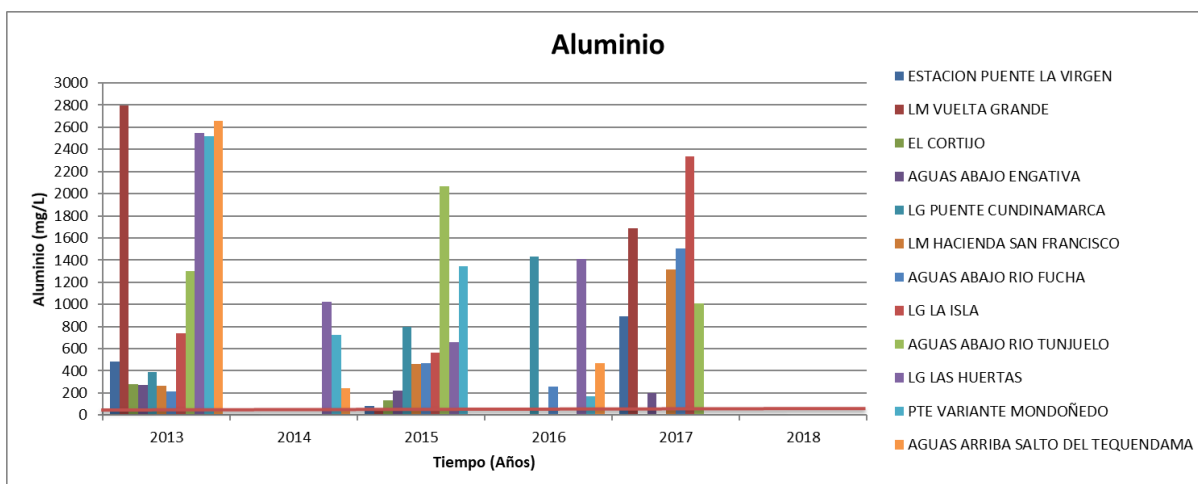
4.2.12 Solidos suspendidos totales



Gráfica 4-10. Comportamiento de SST.

Fuente: Propia.

4.2.13 En la gráfica 10, se evidencia el comportamiento de los Solidos Suspendidos Totales, el cual tiende a aumentar en las siguientes estaciones: aguas abajo Río Tunjuelo, LG las huertas, PTE variante Mondoñedo y Aguas arriba salto del Tequendama. Esto se puede explicar debido al arrastre del movimiento del agua. Para el periodo 2017 y 2018 se evidencian unos picos en las estaciones Aguas abajo río Fucha y aguas abajo río Tunjuelo, lo cual se puede atribuir al aumento del caudal debido a las fuertes precipitaciones que se registraron en estos periodos, lo cual se traduce en un mayor arrastre de los Solidos Suspendidos Totales. Por otra parte, la concentración de SST fijados en el Acuerdo 43 de 2006 es de 40 – 50 (mg/L) para las clases IV y V respectivamente, como se señala en la gráfica. A partir de esto, se puede afirmar que un 30% aproximadamente de las estaciones de monitoreo cumplen con este límite, y un 70% aproximadamente superan el límite fijado por lo cual se estaría incumpliendo el Acuerdo 43 de 2006.

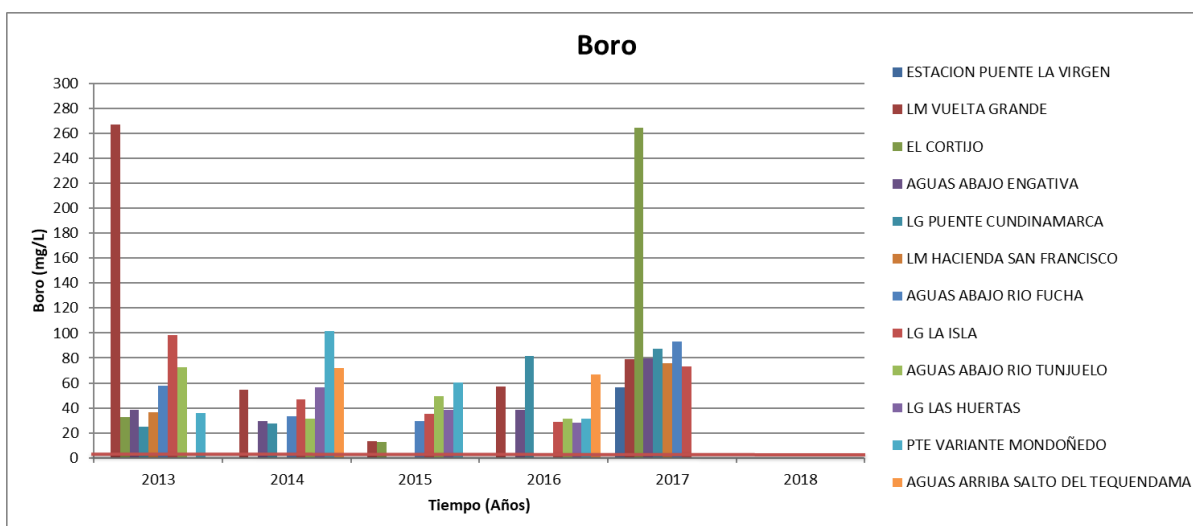


Gráfica 4-11. Comportamiento de aluminio.

Fuente: Propia.

En la gráfica 11, se evidencia el comportamiento del Aluminio el cual es muy variable lo que se evidencia en los picos altos que se registran en un 80% de las estaciones de monitoreo. Además se establece una media de 657 (mg/L), valor que incumple en gran medida el límite fijado para el Acuerdo 43 de 2006 el cual es de 5 (mg/L) para la clase IV, como se indica en la gráfica. Sin embargo, para el periodo de 2018 se registra una reducción drástica en los valores de Aluminio, para todas las estaciones de monitoreo, para este periodo, se cumple el límite fijado en el 100% de las estaciones, lo cual puede ser un indicativo de la efectividad de la implementación de la adecuación hidráulica y recuperación ambiental del río Bogotá.

4.2.14 Boro

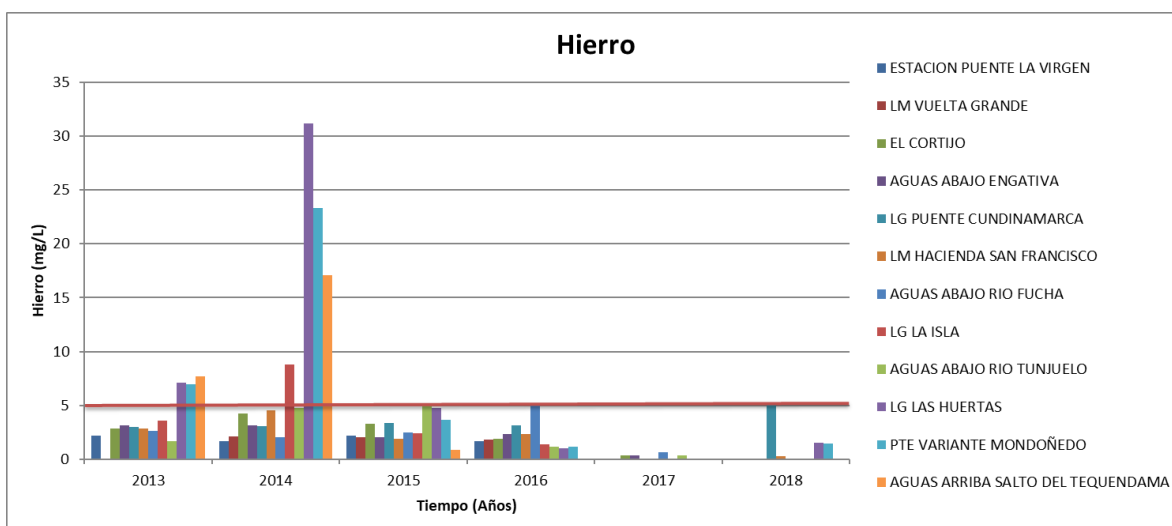


Gráfica 4-12. Comportamiento del Boro.

Fuente: Propia.

En la gráfica 12, se evaluó el comportamiento del Boro el cual es similar al que registra el Aluminio. En 5 de los 6 periodos de monitoreo se puede obtener una media de 44 (mg/L), se registran 2 picos importantes, el primero en 2013 en la estación LM vuelta grande y el segundo en el 2017 en la estación El cortijo. En ese periodo en particular hay un incremento general en un 80% de las estaciones, lo que coincidiría con las altas precipitaciones que se registraron en ese año. La media que se obtiene incumple en gran medida el límite fijado para el Acuerdo 43 de 2006 el cual es de 0,3 – 0,4 (mg/L) para la clase IV y V respectivamente, como se indica en la gráfica. Por otra parte, para el periodo de 2018 se registra una reducción drástica en los valores de Boro, teniendo en cuenta lo anterior se cumple el límite fijado en el 100% de las estaciones, lo cual puede ser un indicativo de la efectividad de la implementación de la adecuación hidráulica y recuperación ambiental del río Bogotá.

4.2.15 Hierro

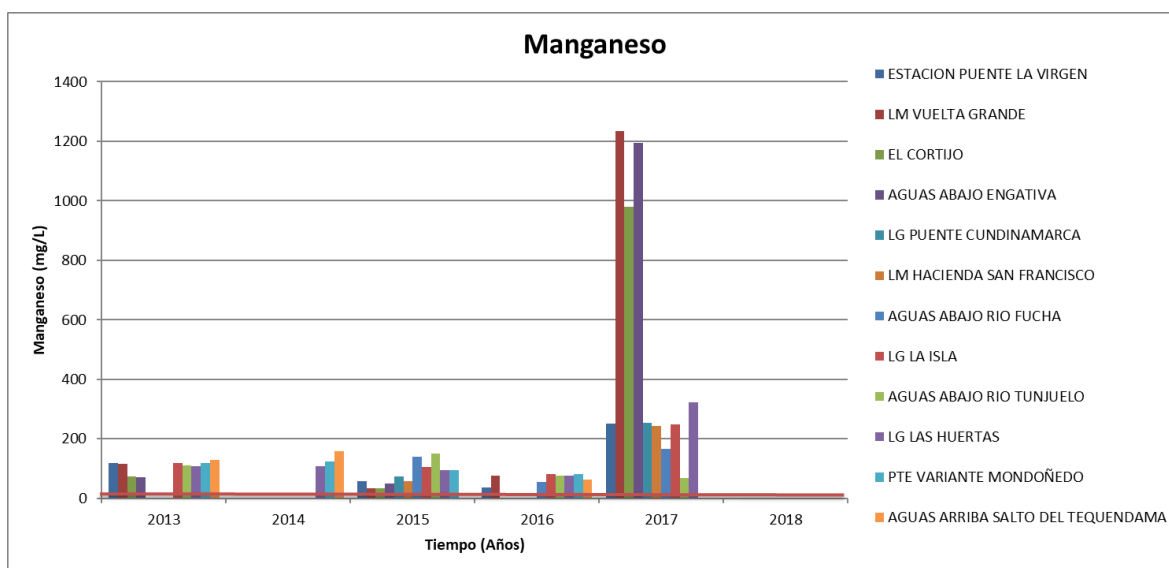


Gráfica 4-13. Comportamiento del hierro.

Fuente: Propia.

En la gráfica 13, se evaluó el parámetro de Hierro, el comportamiento es estable hasta el periodo del 2016, se puede establecer una media de 4,1 (mg/L), en el periodo del 2014, se evidencia un aumento en las estaciones LG las huertas, PTE variante Mondoñedo y aguas arriba salto del Tequendama, este periodo coincide con el inicio de las obras de adecuación hidráulica y dragado de la cuenca media del río Bogotá. Para el 2017 y 2018 se evidencia un decrecimiento en los valores de hierro, lo cual puede ser un indicativo de la efectividad de la implementación de la adecuación hidráulica, también vale aclarar que estos periodos coinciden con un aumento en la precipitación y por ende en el caudal. En el Acuerdo 43 de 2006 se fija un límite de 5 (mg/L), tanto para la clase IV como para la clase V, como se indica en la gráfica, lo cual teniendo en cuenta la media registrada para este parámetro, se cumple en un 85% a 90% con este límite.

4.2.16 Manganeso



Gráfica 4-14. Comportamiento del manganeso.

Fuente: Propia.

Finalmente, en la gráfica 14, se evaluó el manganeso, el cual muestra un comportamiento es constante desde el periodo 2013 hasta 2016 en donde no se registran picos de gran importancia, manteniéndose por debajo de los 200 (mg/L), además se calculó la media en 150 (mg/L) para este parámetro. Para el periodo de 2017, se produce un incremento general en todas las estaciones de la cuenca media del río Bogotá, registrando picos significativos en las estaciones LM vuelta grande, El Cortijo y Aguas abajo Engativá, ese año coincide con un incremento en el caudal, lo que podría influir en el aumento de este parámetro para ese periodo. Para el 2018 sucede lo contrario, se presenta un decrecimiento significativo, en comparación con los periodos de monitoreo anteriores, lo que indica que la implementación de la adecuación hidráulica del río Bogotá tiene cierta efectividad en este parámetro reduciendo sus niveles. Por otra parte, en el acuerdo 43 de 2006 se fija el límite a cumplir en 0,2 (mg/L), como se indica en la gráfica, para los periodos de 2013 a 2017 este límite se incumple, puesto que un 90 a 95% de las estaciones superan este límite. Sin embargo, en el periodo de 2018 el 100% de las estaciones cumplen con el acuerdo.

4.3 FASE 3

4.3.1 Resultados estadísticos

En las tablas 4-3 y 4-4 se presentan los resultados estadísticos de los parámetros de estudio, lo cual da un indicativo más preciso de la efectividad de las obras de adecuación hidráulica y recuperación ambiental del río Bogotá.

Tabla 4-3. Media estadística de los parámetros.

Fuente: Propia.

MEDIA			
Parámetros	Antes de la Adecuación Hidráulica	Durante la Adecuación Hidráulica	Después de la Adecuación Hidráulica
Caudal (m ³ /s)	-	21,26	22,43
Conductividad (mS / cm)	383,75	537,73	592,25
Temperatura	18,48	19,3	17,62
DQO (mg/l)	179,82	190,57	229,97
DBO5 (mg O2/l)	72,98	74,4	87,63
pH	7,08	7,15	7,32
Oxígeno D. (mg O2/l)	0,72	1,08	1,1
Coliformes T. (NMP / 100 mL)	17277250	17544966,67	18533333,33
Nitritos (mg N-NO2 / L)	0,01	0,07	0,03
SST (mg-SST / L)	156,86	126,69	235,42
Aluminio (mg Al / L (ppm)	1205,83	751,23	1,7
Boro (mg B / L (ppm)	55,34	58,12	0,04
Hierro (mg Fe / L (ppb)	3,63	4,55	0,71

Tabla 4-4. Desviación estándar de los parámetros.

Fuente: Propia.

DESVIACIÓN ESTÁNDAR			
Parámetros	Antes de la Adecuación Hidráulica	Durante la Adecuación Hidráulica	Después de la Adecuación Hidráulica
Caudal (m³/s)		16,21	26,76
Conductividad (mS / cm)	127,91	135,3	188,54
Temperatura	0,6	0,5	1,36
DQO (mg/l)	93,04	93,34	180,58
DBO5 (mg O2/l)	40,34	42,51	75,22
pH	0,11	0,19	0,17
Oxígeno D. (mg O2/l)	1,62	0,84	0,84
Coliformes T. (NMP / 100 mL)	8681352,84	9716719,52	11747133,76
Nitritos (mg N-NO2 / L)	0,02	0,1	0,1
SST (mg-SST / L)	137,24	93,12	482,94
Aluminio (mg Al / L (ppm))	1094,3	458,66	3,44
Boro (mg B / L (ppm))	73,06	27,91	0,02
Hierro (mg Fe / L (ppb))	2,36	3,57	1,52
Manganeso (mg Mn / L (ppm))	51,65	157,65	0,16

La media y la desviación estándar para cada parámetro se calcularon teniendo en cuenta 3 periodos de análisis. El primer periodo, antes de la adecuación hidráulica, la cual corresponde al año 2013; el segundo periodo, el cual ubicamos durante las obras de dragado y las obras de adecuación hidráulica y recuperación ambiental del río Bogotá que corresponde al tiempo comprendido entre los años 2014 al 2017; y el tercer periodo, después de culminadas las obras de adecuación hidráulica y recuperación ambiental del río Bogotá, el cual se ubica en el año 2018. Teniendo en cuenta lo anterior, los parámetros de interés orgánico, como la DBO, los Coliformes Totales y el Oxígeno Disuelto, no

disminuyen después de la adecuación hidráulica del río Bogotá, además la dispersión también aumenta proporcionalmente, lo que nos indica que esta metodología no es efectiva. Esto mismo sucede con los Solidos Suspendidos Totales, los cuales incrementan después de la adecuación hidráulica. Caso contrario sucede con los parámetros de interés sanitario, como el aluminio, boro, hierro y manganeso, los cuales decrecen después de la implementación de la adecuación hidráulica, lo cual se traduce en un efecto importante de esta metodología. El mismo comportamiento se puede evidenciar con los nitritos que es un nutriente, el cual registra una media y desviación estándar bajos incluso desde antes de la adecuación hidráulica que se mantiene constante en los periodos de análisis. Ahora bien, el caudal, la temperatura y la conductividad son parámetros que se incluyeron en este análisis pues se consideró que tienen influencia en los demás parámetros, en el caso del caudal este registra un aumento importante en los últimos años debido a que se han presentado precipitaciones más altas de la media multianual, este aumento del caudal puede influir en los demás parámetros, tal como se vio en el análisis de cada una de las gráficas, donde se evidenciaron algunos picos importantes. Un comportamiento similar registra la conductividad y la temperatura que aumentan tanto en la media como en la desviación estándar después de la adecuación hidráulica, lo cual también repercute en los valores registrados para los demás parámetros que se analizaron.

5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para este capítulo vamos a partir del análisis de los caudales, este parámetro para los autores interviene y tiene un efecto importante en los demás parámetros que se evaluaron a lo largo de los capítulos anteriores. La limitante principal en cuanto a los caudales fueron los datos suministrados de forma incompleta por parte de la Corporación Autónoma Regional. Sin embargo, se encontró el aumento de caudal en estaciones aguas abajo de la cuenca, comportamiento similar evidenciado en otros parámetros. En particular en los periodos 2017 y 2018 se registran un incremento importante en el caudal, lo que se explica en la presencia de precipitaciones más altas que las medias anuales en estos periodos.

En cuanto a la conductividad, el comportamiento es muy variable, se evidencian incrementos y decrementos en todos los periodos de análisis, sin embargo, la tendencia es similar a los caudales, aumentando en estaciones aguas abajo de la cuenca, este incremento se atribuye al aumento en la concentración de sólidos disueltos debido al aumento del caudal. En el periodo de 2014 se observó un aumento general en todas las estaciones, coincidente con el inicio de las obras de dragado y adecuación hidráulica de la cuenca.

Continuando con los parámetros de interés orgánico, como es el caso de la DBO₅, la DQO, Coliformes totales y el oxígeno disuelto se observa un comportamiento variable en todas las estaciones y periodos de monitoreo. La tendencia indica un incremento tanto en la DBO₅ como en la DQO en las estaciones aguas abajo de la cuenca. También se identifica que en el periodo de 2014 al igual que en el caso de la conductividad se presenta un incremento general en todas las estaciones a lo largo de la cuenca, esto coincide con el inicio de las obras de adecuación hidráulica del río Bogotá a lo cual se atribuye este incremento. Para los periodos 2017 y 2018 se registran unos incrementos puntuales en las estaciones aguas abajo río Tunjuelo, LG las huertas, PTE variante Mondoñedo y aguas arriba salto del Tequendama, estos picos o incrementos se atribuyen al aumento del caudal en estos periodos, debido a las precipitaciones altas que se registraron en estos años.

En cuanto al oxígeno disuelto, la tendencia que se identifica es que inicia con incrementos en las estaciones que se encuentran aguas arriba de la cuenca, luego decrece en las estaciones del punto medio de esta y hacia las estaciones aguas abajo incrementa nuevamente. También es posible identificar que en los seis periodos de monitoreo en la estación aguas arriba del salto del Tequendama se presentan incrementos importantes lo que nos indica que en este sector el agua llega con menor contaminación. En cuanto a los coliformes totales el comportamiento es más estable, a excepción de unos incrementos que se presentan en el periodo 2014 y 2016, puntualmente en las estaciones LG las huertas y aguas arriba del salto del Tequendama respectivamente, estos incrementos puntuales se atribuyen a una descargar de carga contaminante en estos puntos en específico.

Los nitritos son un parámetro de interés nutriente, que en este caso el comportamiento es bajo, estas concentraciones bajas son usuales considerando que el río Bogotá es un cuerpo de agua bien oxigenado, los incrementos más notables se registran en el 2015 específicamente en las estaciones LG las huertas y PTE variante Mondoñedo, llegando a registrar poco más de 1 mg/L, lo que indica un nivel alto de toxicidad que impide el establecimiento de un ecosistema fluvial en buenas condiciones debido a la carga contaminante industrial y domestica que recibe el río Bogotá

El parámetro de Solidos Suspendidos Totales, presenta un comportamiento similar al que presenta la conductividad y el caudal, es decir que la tendencia es aumentar hacia las estaciones aguas abajo de la cuenca, este comportamiento puede deberse al arrastre que genera el caudal del río en los sólidos coloidales y disueltos. Se registran unos incrementos nuevamente en los periodos de 2017 y 2018 puntualmente en las estaciones LG puente Cundinamarca y aguas abajo río Tunjuelo. Sin embargo, en estos periodos como se ha mencionado con anterioridad el caudal aumento debido a las precipitaciones altas que se registraron en estos periodos, lo cual pudo generar un arrastre mayor en los Solidos suspendidos y presentar estos incrementos.

En cuanto a los parámetros de interés sanitario, los cuales son el aluminio, el boro, el hierro y el manganeso, el comportamiento es muy variable en todos los casos presentándose tanto incrementos como decrementos. En cuanto al boro y el manganeso, estos presentan en 2017 un incremento general en todas las estaciones, lo que podría relacionarse con el incremento del caudal para este periodo. En el caso del hierro en el 2014 se presenta un incremento en todas las estaciones, sin embargo, el incremento más notable se genera en las estaciones aguas debajo de la cuenca, recalando que para este año se inician las obras para la implementación de la adecuación hidráulica lo que pudo haber producido este incremento. El aluminio registra un comportamiento más variable con incrementos y decrementos a lo largo de cinco de los seis periodos de monitoreo.

En los parámetros de interés sanitario, se resalta el periodo del 2018, donde en el 100% de las estaciones de monitoreo las concentraciones decrecen drásticamente comparado con los periodos anteriores, estos registros son interesantes, señalan que puede ser producto de la implementación del proyecto de adecuación hidráulica y recuperación ambiental del río Bogotá, un indicativo de la efectividad de esta metodología hablando puntualmente de estos parámetros.

Por otra parte, se debe tener presente que el Acuerdo 43 de 2006 se establece para controlar los niveles de carga contaminante en la cuenca del río Bogotá y en este se establecieron limites que se deben cumplir, para asegurar una mejor calidad de vida para la población de las áreas rurales y urbanas que aprovechan el recurso hídrico para sus actividades diarias. Teniendo en cuenta lo anterior a criterio de los autores la implementación del proyecto de adecuación hidráulica y recuperación ambiental del río Bogotá no es eficaz para el mejoramiento de la calidad del agua, pues en varios de los parámetros analizados no se evidencia una reducción de las concentraciones, incluso se registran valores que superan el límite propuesto. Sin embargo, es posible identificar cierta mejoría o reducción de los niveles de concentración en parámetros de interés sanitario.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La cuenca media del río Bogotá recibe las descargas del canal Torca y de los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo, estas descargas aportan una importante carga contaminante debido a la presencia de grandes industrias, sumado a las descargas que se presentan en la cuenca en alta en municipios como Villapinzón los parámetros de referencia adoptan valores particularmente alto a los exigidos en el Acuerdo 43 de 2006.

La DQO y la DBO₅ se encuentran en promedio el orden de 72 y 180 mg/L respectivamente, después de la implementación de la adecuación hidráulica, los Solidos Totales presentan valores del orden del 1,1 mg/L, con eventos de anoxia, mostrando el gran impacto que la ciudad de Bogotá particularmente sus vertimientos causan sobre el río.

La tendencia observada en los parámetros es el aumento hacia las estaciones aguas abajo, este comportamiento podría sustentarse por el arrastre de residuos, solidos coloidales y disueltos generados por el incremento del caudal en estas zonas puntualmente.

Los resultados validados en las estaciones de monitoreo aguas arriba de la cuenca, permiten concluir que la presencia de oxígeno disuelto se ve favorecida por una posible capacidad de autodepuración del río y por los aportes que generan los embalses del Tominé y Sisga que se presentan en la cuenca alta lo que a su vez repercute en la cuenca media.

Los resultados presentados en los parámetros de interés sanitario posterior a la implementación de la adecuación hidráulica, permite concluir que la metodología tuvo un efecto positivo en estos términos, esta apreciación puede sustentarse con la ampliación de la sección hidráulica y el dragado del lecho del río, sumado al incremento del caudal en los

últimos años, lo cual permitió esta reducción considerable en los parámetros sanitarios y por ende la mejora de las condiciones de la cuenca del río.

Contrariamente, se evidenció que los parámetros nutrientes, SST, y Coliformes Totales el cual es el indicador más crítico de contaminación bacteriana y el cual limita el uso del agua, sus concentraciones exceden los estándares de calidad fijados, por lo cual se concluye que la adecuación hidráulica no es efectiva en este aspecto.

Teniendo en cuenta lo anterior, la conclusión en respuesta al objetivo general de esta investigación es que la adecuación hidráulica como metodología de mejoramiento de la calidad del agua no es efectiva, puesto que los parámetros más críticos de contaminación no mejoran posterior a la implementación, sino que contrariamente aumentaron sus concentraciones.

Por lo tanto, se recomienda evaluar metodologías complementarias para el mejoramiento de la calidad del agua de la cuenca media del río Bogotá que permitan condiciones aerobias adecuadas. En este sentido, evaluar la implementación de sistemas de tratamiento en industrias presentes a lo largo de la cuenca media, así como sus afluentes que descargan en el río, lo cual implica un control más riguroso por parte de la autoridad ambiental, así mismo la construcción de la PTAR Canoas, lo que permita una depuración más efectiva de la contaminación del río Bogotá, lo cual se verá reflejado posteriormente en la cuenca baja del río Bogotá.

En esta investigación se presenta incertidumbre en los datos de caudales presentados previos a la implementación de la adecuación hidráulica, lo cual no permitió analizar de forma más concisa el comportamiento de los parámetros relacionados, teniendo en cuenta que el caudal es un parámetro de gran influencia. Se recomienda que, para posteriores investigaciones en este campo, se generen más reportes de medición de caudal, para un análisis más minucioso en cuanto a calidad del agua

7 BIBLIOGRAFÍA

Alcaldía Mayor de Bogotá. (24 de Enero de 2013). *Alianza para descontaminación del Río Tunjuelo*. Recuperado el 08 de Abril de 2019, de <http://www.bogota.gov.co/localidades/tunjuelito/alianza-para-descontaminaci%C3%B3n-del-r%C3%ADo-tunjuelo-0>

Baratto, R. (21 de Enero de 2014). *Ocho ejemplos de que es posible descontaminar los ríos urbanos*. Recuperado el 04 de Abril de 2019, de <http://www.plataformaurbana.cl/archive/2014/01/21/ocho-ejemplos-de-que-es-posible-descontaminar-los-rios-urbanos/>

BOGOTÁ, E. D. (2001). *Informe de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Salitre*. Bogota.

CAR. (2006). Acuerdo numero 43 del 17 de octubre. Cundinamarca, Colombia.

CAR. (2007). Evaluación ambiental y plan de gestión ambiental. BOGOTA.

CAR. (2007). Rio Bogota, adecuacion hidraulica y recuperacion ambiental . Bogota.

CAR. (2019). *Glosario de terminos ambientales*. Recuperado el 10 de 04 de 2019, de <https://www.car.gov.co/vercontenido/2215#>

Colombia, E. –U. (2009). *MODELACIÓN DINÁMICA DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO BOGOTÁ*. Bogota.

ConCol, C. C. (24 de Octubre de 2013). *Estudios ambientales para el plan de recuperación del Río Magdalena*. Recuperado el 28 de Abril de 2019, de <http://www.concol.com/content/estudios-ambientales-para-el-plan-de-recuperaci%C3%B3n-del-r%C3%ADo-magdalena>

CONPES. (2003). *Documento 3256*. Bogotá.

CONPES, 3. (s.f.). *ESTRATEGIA PARA EL MANEJO AMBIENTAL DEL RÍO (2004)*. Colombia: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

DAMA, D. T. (27 de Diciembre de 2002). Convenio Interadministrativo No. 041/02. Bogota, Colombia.

Decreto, 2. (2010). *DECRETO NÚMERO 2945*. Colombia: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Decreto, 3. (2010). Colombia : Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial.

Deutschland. (15 de abril de 2014). *La renaturalización del río Emscher*. Recuperado el 04 de abril de 2019, de <https://www.deutschland.de/es/topic/cultura/ciudad-campo/la-renaturalizacion-del-rio-emscher>

Diaz, B. E. (2004). *Modelación de la calidad del agua en el interceptor río Bogotá en los tramos Fucha - Tunjuelo - Canoas*. Bogota: Universidad de los Andes.

EAAB : UNAL. (2009). *Entendimiento de la dinámica de la calidad del agua del río bogotá y diseño de campañas de medición de la calidad del agua*. Bogota.

- EAAB, S. &. (2008). *Calidad del sistema hídrico de Bogotá*. Bogotá.
- IDEAM, I. d. (27 de Diciembre de 2002). Convenio Interadministrativo No. 198/02. Bogota, Colombia.
- LEY 99 DE 1993. (s.f.). *Ministerio del Medio Ambiente (Sistema Nacional Ambiental - SINA)*. Colombia.
- Lobos, J. (2008). Prologo. En S. :. EAAB, *Calidad del sistema hídrico de Bogotá* (págs. 15 - 16). Bogotá.
- Resolucion, 3956. (2009). *Secretaria Distrital de Ambiente*. Bogota.
- Sánchez, F. C. (1986). *Recuperación del tramo urbano del rio manzanares, Madrid (España)*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- SDA : EAAB. (2008). *Calidad del sistema hídrico de Bogotá 1° edicion*. Bogota: Pontificia Universidad Javeriana.
- SDA. (2004). *Proyecto de descontaminación y recuperación de la cuenca del Río Bogotá*. Bogotá.
- Secretaria Distrital De Planeacion. (s.f.). *Decreto 386 de 2008*. Bogota.
- Solano, A. (2016). renaturalización, reactivación y restauración bajo los parámetros del ecourbanismo en la parte alta del río Fucha. Bogota: Universidad piloto de Colombia.

Villa, E. &. (2000). Andean forests and farming systems in part of the eastern cordillera (Colombia) mountain. En *Research and development* (págs. 236 - 245). International Mountain Society.